



TESIS SF 142502

**PROBING PORISITAS LAPISAN NANO LOGAM
OKSIDA DAN PENETRASI BAHAN PEWARNA SEL
SURYA DENGAN SPEKTROSKOPI PLASMON
PERMUKAAN**

SITI CHALIMAH
NRP 1112 201 020

DOSEN PEMBIMBING
Dr. YONO HADI PRAMONO, M.Eng.
RAHMAT HIDAYAT, Ph.D.
Dr. Eng. HERMAN

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTOELEKTRONIKA DAN ELEKTROMAGNETIK
TERAPAN
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS SF 142502

PROBING OF PORESITY OF NANO-METAL OXIDE THIN FILM AND PENETRATION OF DYE SOLAR CELL BY SURFACE PLASMON SPECTROSCOPY

SITI CHALIMAH
NRP 1112 201 020

SUPERVISORS
Dr. YONO HADI PRAMONO, M.Eng.
RAHMAT HIDAYAT, Ph.D.
Dr. Eng. HERMAN

MASTER PROGRAM
OPTOELECTRONICS AND ELECTROMAGNETIC APPLIED
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Siti Chalimah
Nrp. 1112201020

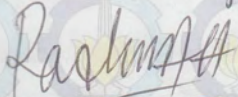
Tanggal Ujian : 13 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015


Disetujui oleh :


1. Dr. Drs. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
NIP: 19690904 199203 1 003

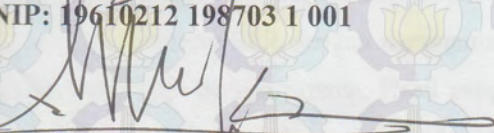
(Pembimbing)


2. Rahmat Hidayat, Ph.D.
NIP: 19681211 199403 1 004

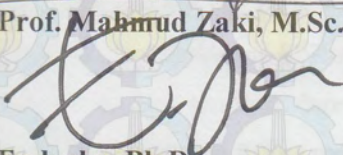
(Pembimbing)


3. Dr. Eng. Herman
NIP: 19610212 198703 1 001

(Pembimbing)



4. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc.

(Penguji)


5. Endarko, Ph.D.
NIP: 19741117 199903 1 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasajana,


Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP: 19640405 199002 1 001

PROBING PORISITAS LAPISAN NANO LOGAM OKSIDA DAN PENETRASI BAHAN PEWARNA SEL SURYA DENGAN SPEKTROSKOPI PLASMON PERMUKAAN

Nama mahasiswa : Siti Chalimah
NRP : 1112 201 020
Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
Rahmat Hidayat, Ph.D
Dr. Eng. Herman

ABSTRAK

Fenomena Resonansi Plasmon Permukaan (*Surface Plasmon Resonance*, yang sering disingkat sebagai SPR) sangat sensitif terhadap variasi permitivitas dari lapisan dielektriknya. Tesis ini melaporkan hasil kajian untuk melihat apakah fenomena SPR dapat digunakan untuk membedakan derajat porisitas dari suatu lapisan logam oksida dan penetrasi bahan fungsional organik di dalam struktur porusnya. Penentuan porisitas hingga skala mikrometer dapat dilakukan dengan beberapa cara yang telah baku. Akan tetapi, tidak demikian halnya untuk mengetahui porisitas berukuran nanometer, khususnya dalam bentuk lapisan tipis. Dalam tesis ini, ZnO terdoping Al (AZO) digunakan sebagai logam oksidanya dan *ruthenium dye* N719 sebagai bahan organik fungsional, yang keduanya merupakan bahan yang sering dipakai dalam sel surya generasi ketiga. Telah diketahui sebelumnya, bahwa nano-morfologi permukaan dari lapisan AZO sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dopan Al-nya. Untuk itu telah dilakukan pengukuran spektrum SPR dengan menggunakan sistem pengukuran SPR dengan elemen pengkopel berupa prisma. Hasil pengukuran menunjukkan dip spektrum SPR yang bergantung pada variasi kadar dopan Al-nya. Semakin besar kadar dopan Al, dip spektrum SPR-nya bergeser ke daerah panjang gelombang yang lebih kecil. Hal tersebut dapat mengindikasikan penurunan nilai indeks bias lapisan AZO, sebagai akibat membesarnya derajat porisitas lapisan. Semakin lama waktu perendaman *ruthenium dye* N719, dip spektrum SPR menunjukkan pergeseran ke daerah panjang gelombang yang lebih besar, yang mengindikasikan bertambahnya penetrasi bahan tersebut pada lapisan mesoporos AZO.

Kata kunci : AZO, ZnO, *ruthenium dye* N719, *Surface Plasmon Resonance*

PROBING OF PORESITY OF NANO-METAL OXIDE LAYER AND DYE SOLAR CELL PENETRATION BY SURFACE PLASMON SPECTROSCOPY

Student name : Siti Chalimah
NRP : 1112 201 020
Supervisors : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
Rahmat Hidayat, Ph.D
Dr. Eng. Herman

ABSTRACT

The physical phenomenon of (Surface Plasmon Resonance which is often shortened as SPR), is so sensitive toward various permittivity of its dielectric layer. In this thesis, we report our study to characterize whether phenomenon of SPR effect can be used to distinguish the porosity degree of Al-Doped ZnO (AZO) layer and characterize penetration of functional organic material in porous AZO. A porous degree at micro- scale can be characterized by some permanent measurements. Nevertheless, we have difficulty to determine a porous degree of nano-scale material. In this thesis, Al-doped ZnO as metal-oxide and ruthenium dye N719 as a functional organic material. Both of which are often used as third-generation solar cell. It has previously been reported that nano-morphology of AZO is greatly influenced by concentration of Al dopant. We tried to characterize using spectral SPR sensing by prism coupling method. Measurement results are indicated that dip of the spectral SPR depends on various Al dopant concentration. The greater Al dopant concentration is, the smaller dip SPR is. Those are indicated that the greater Al dopant concentration is, the smaller the effectively refractive index of AZO is. The longer the soaking time in ruthenium dye N719 is, the greater dip SPR is. Those are indicated the high penetration toward AZO mesoporous layer.

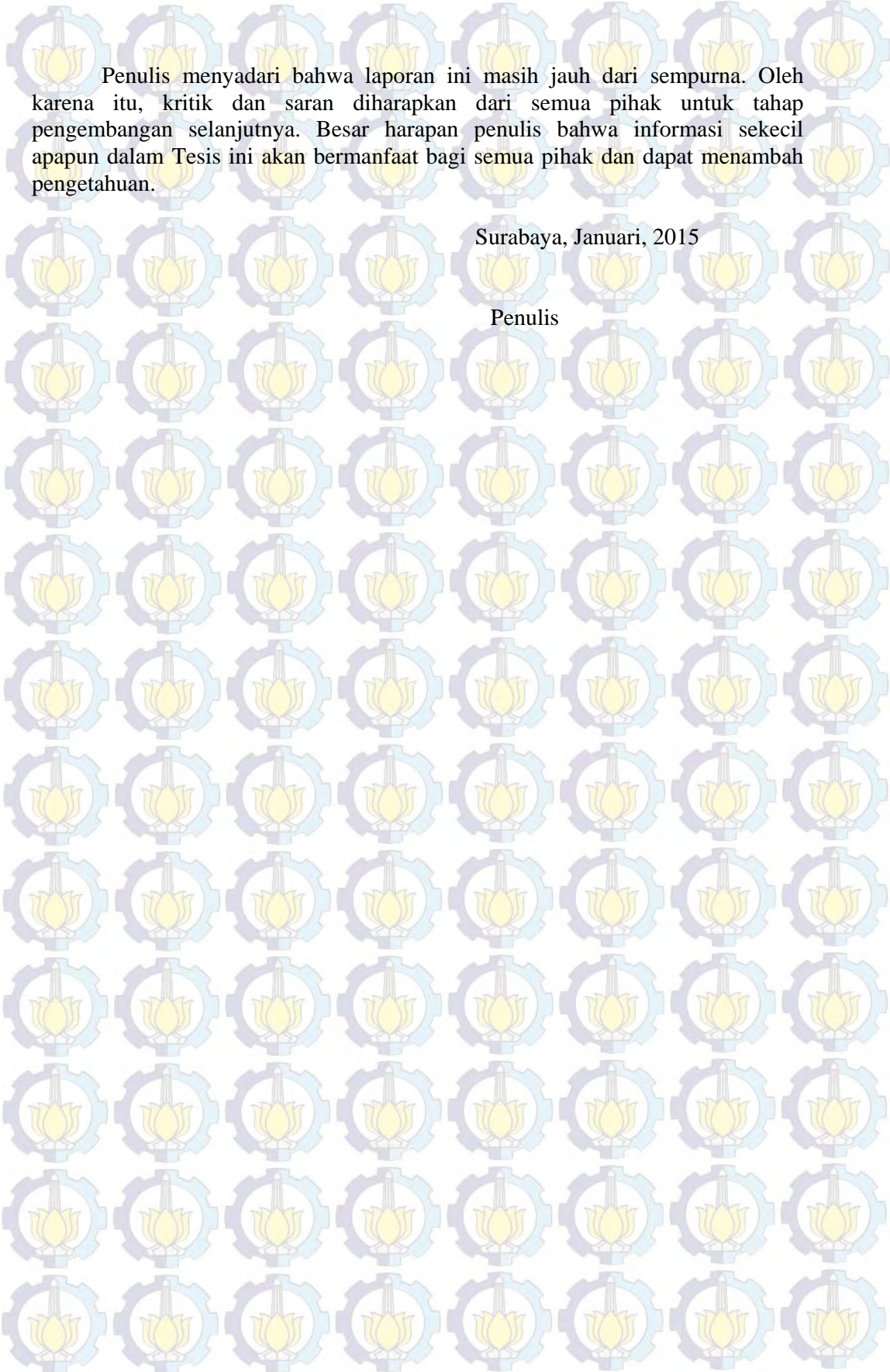
Keywords : AZO, ZnO, ruthenium dye N719, Surface Plasmon Resonance

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'alamiin, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul **“PROBING PORISITAS LAPISAN NANO LOGAM OKSIDA DAN PENETRASI ZAT PEWARNA SEL SURYA DENGAN SPEKTROSKOPI PLASMON PERMUKAAN”**. Shalawat serta salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW atas suri tauladannya dalam kehidupan.

Dengan terselesaikan laporan Tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan ibuku yang telah memberikan doa, pengorbanan dan dukungan moril untuk selalu memotivasi penulis. Serta keenam adik-adikku tercinta (Sholehah, Mida, Najib, Zain, Nabila dan Farid) yang selalu memberikan dukungan dan senyuman manis.
2. Bapak Rahmat Hidayat, Ph.D (ITB) selaku dosen pembimbing Tesis penulis yang selalu sabar dalam membimbing eksperimen dan memberikan ilmu sebanyak-banyaknya selama di ITB, serta Dr. Eng. Herman (ITB) yang selalu meluangkan waktunya untuk berdiskusi selama penulis mengerjakan Tesis di ITB.
3. Bapak Dr.Yono Hadi Pramono selaku dosen pembimbing ITS dan ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
4. Bapak Prof. Mahmud Zaki, M.Sc. selaku dosen penguji dan dosen pengajar yang selalu memberikan semangat belajar, keteladanan dan memberikan dorongan untuk memperbanyak melakukan eksperimen dalam bidang fisika.
5. Bapak Endarko, Ph.D selaku dosen penguji yang memberikan arahan dan nasihat yang bermanfaat.
6. Bapak Gontjang Prayitno, M.Si. koordinator Tesis.
7. Segenap staf pengajar dan karyawan di Jurusan Fisika, atas didikan, arahan, dan motivasi.
8. Teh Nina Siti Aminah (ITB) sebagai pertner reset yang selalu memberi dorongan, dukungan, semangat dan nasehat kepada penulis.
9. Teman-teman Lab. Fisika Material Magnetik dan Fotonik yang selalu memberikan motivasi (Mbk Ika, Pak Astel, Erlin, Reni, Herlin, Tanti, Yola, Trisa, Mas Edi, kang Okky dkk.).
10. Sahabat-sahabatku ITS yang tercinta atas persahabatan, dorongan, motivasi, dan senyuman (Kiki, Yufi, mbk nurul, mbk silvi, Mifta, mbk Yekti, mas Sulthon, mas Okan, Yusron, Hendra, Riska, Rudi, mbk Linda, Nurrisma, Budiana, Ellys, Yuli, Utiya, mbk devi, mas Dian dkk.).
11. Mantan penghuni kos Keputih Gang III no 21 terima kasih selau menjadi teman yang baik untuk berdiskusi (mbk Santi, mbk Iim, mbk Alma, mbk Tia, mbk Sofi, mbk Diyah, Dwi, MbK Fina dkk.).
12. Alumni SMA I Kertosono Nganjuk, Jawa Timur yang selalu memberi nasihat ,persahabatan dan selau ada dimanapun kalian berada (mas Awan, mas Syam, mbk Reni, mbk Atik, mas Mada, mbk Ika, dkk.).
13. Seluruh pihak yang mendukung penulis dalam menyelesaikan Tesis yang tidak bisa disebutkan satu persatu.



Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran diharapkan dari semua pihak untuk tahap pengembangan selanjutnya. Besar harapan penulis bahwa informasi sekecil apapun dalam Tesis ini akan bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menambah pengetahuan.

Surabaya, Januari, 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gelombang <i>evanescent</i> , Plasmon, dan <i>Surface Plasmon Resonance</i>	5
2.2 Tetapan Dielektrik Bahan	9
2.2.1 Tetapan Dielektrik Model Lorentz	9
2.2.2 Tetapan Dielektrik Model Drude-Lorentz	10
2.3 Eksitasi SPR dengan Cahaya Menggunakan Metode Pengkopel Prisma	11
2.4 Tipe Penginderaan <i>Surface Plasmon Resonance</i>	12
2.4.1 Penginderaan Spektrum	12
2.4.2 Penginderaan Sudut	13
2.5 Persamaan Fresnel <i>Multibeam Interferometer</i>	14

2.6	Logam Oksida ZnO	15
-----	------------------	----

2.7	Sintesis Nanokristal ZnO dengan Metode <i>Sol-Gel</i>	16
-----	---	----

2.8	Pewarna (<i>Ruthenium Dye</i>)	18
-----	----------------------------------	----

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Alat dan Bahan	21
-----	----------------	----

3.2	Diagram Alur Penelitian	22
-----	-------------------------	----

3.3	Prosedur Kerja	23
-----	----------------	----

3.3.1	<i>Sputtering Thin Film</i> Emas	23
-------	----------------------------------	----

3.3.2	Sintesis Alumunium-Doped ZnO (AZO) dengan Metode <i>Sol-Gel</i>	23
-------	---	----

3.3.3	Deposisi AZO pada Lapisan <i>Thin Film</i> Emas	23
-------	---	----

3.3.4	Perendaman Sampel pada Pewarna <i>Ruthenium Dye</i>	24
-------	---	----

3.3.5	Pengukuran Spektrum Sampel dengan Metode Pengukuran <i>Surface Plasmon Resonance</i>	24
-------	--	----

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Simulasi dan Eksperimen Spektrum SPR BK-7/Au/Udara	27
-----	--	----

4.2	Hasil Spektrum SPR BK-7/Au/AZO	29
-----	--------------------------------	----

4.3	Kurva Dispersi SPR	30
-----	--------------------	----

4.4	Spektrum SPR sampel dengan pewarna ruthenium dye N719	33
-----	---	----

BAB V KESIMPULAN

5.1	Kesimpulan	37
-----	------------	----

5.2	Saran	38
-----	-------	----

	DAFTAR PUSTAKA	39
--	----------------	----

	LAMPIRAN	41
--	----------	----

	BIODATA PENULIS	45
--	-----------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan dip spektrum SPR hasil simulasi dan eksperimen 28

Tabel 4.2 Dip spektrum SPR spektrum SPR Gambar 4.2 (a) dan (b) 30

Tabel 4.3 *Refinement* indeks bias efektif AZO 0,5 wt% 32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang <i>Evanescent</i>	1
Gambar 2.2 <i>Bulk metal</i>	2
Gambar 2.3 Muatan dan medan elektromagnetik <i>Surface Plasmon</i> dengan arah penjaran sumbu-x, eksponensial medan listrik sumbu-z	2
Gambar 2.4 Kurva dispersi SPR	9
Gambar 2.5 Nilai riil dan imajiner fungsi dielektrik emas terhadap panjang gelombang pada model Drude-Lorentz	11
Gambar 2.6 Konfigurasi Otto	11
Gambar 2.7 Konfigurasi Kretschmann	12
Gambar 2.8 Konfigurasi penginderaan spektrum SPR	13
Gambar 2.9 Konfigurasi penginderaan sudut SPR	13
Gambar 2.10 <i>Multibeam interferometer</i>	15
Gambar 2.11 (a) <i>cubic rocksalt</i> , (b) <i>cubic zinc blende</i> , dan (c) <i>hexagonal wurtzite</i> . Bulatan abu-abu dan hitam menunjukkan atom Zn dan O	15
Gambar 2.12 Struktur molekul <i>basic zinc acetate</i>	17
Gambar 2.13 Mekanisme awal pertumbuhan partikel	17
Gambar 2.14 Mekanisme koneksi atom Zn	18
Gambar 2.15 Mekanisme pertumbuhan nano kristal ZnO	18
Gambar 2.16 Struktur kimia pewarna <i>Ru</i>	19
Gambar 2.17 Struktur DSSC	19
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	22
Gambar 3.2 Set-up pengukuran spektrum SPR	25
Gambar 4.1 (a) Spektrum SPR hasil perhitungan simulasi dan (b) spektrum SPR hasil eksperimen untuk konfigurasi BK-7/Au/Udara	28
Gambar 4.2 (a) Spektrum SPR BK-7/Au/ZnO dan (b) Spektrum SPR BK-7/Au/AZO 1 wt%	29
Gambar 4.3 Spektrum SPR sampel pada sudut datang prisma 48 derajat	30

Gambar 4.4 (a) Kurva dispersi hasil eksperimen dan (b) Kurva dispersi untuk lapisan AZO 0.5 wt% dan kurva dispersi hasil perhitungan teoretiknya 31

Gambar 4.5 Indeks bias efektif AZO terhadap kadar dopan Alumunium (wt%)33

Gambar 4.6 (a) Spektrum SPR sampel AZO 0,5 wt% setelah direndam dalam pewarna selama 0,25 jam dan (b) Spektrum SPR sampel AZO 0,5 wt% setelah direndam dalam pewarna selama 1 jam 34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Resonansi plasmon permukaan (*Surface Plasmon Resonance*), yang sering disingkat dengan SPR, merupakan fenomena gelombang *evanescent* yang terjadi pada bidang batas dielektrik dan lapisan logam yang sangat tipis. Fenomena fisik SPR pertama kali ditemukan oleh Wood pada tahun 1902 dengan menemukan anomali ketika cahaya terpolarisasi dijatuhkan ke permukaan logam dengan struktur periodik (*grating*). Prinsip fenomena SPR pertama kali diperkenalkan oleh Fano tahun 1941 dan tahun 1968 Otto, Kretschmann dan Raether memulai cara untuk mengeksitasi *Surface Plasmon Resonance* dan membentuk penjelasan lengkap tentang *Surface Plasmon Resonance* [R.B.M Schasfort dan Anna J.T. (edited by), 2008].

Meskipun fenomena SPR telah dikenal sejak lama, pemanfaatan SPR baru dikaji secara intensif dalam dua dasawarsa terakhir terkait dengan berkembangnya bidang interdisiplin nano-teknologi dan bio-teknologi. Dalam bidang bio-teknologi, misalnya, kerap diperlukan perangkat yang mampu mendeteksi dan menentukan material-material dalam jumlah yang sangat kecil. Fenomena SPR ini menghasilkan gelombang *evanescent* yang memiliki medan listrik cahaya yang sangat kuat, sehingga dapat menghasilkan efek serapan atau fluoresensi yang sangat besar pada volume yang sangat kecil. Gelombang evanesen yang terbentuk dalam fenomena SPR jauh lebih kuat dan jarak penetrasi yang lebih besar dibanding fenomena *Attenuated Total Reflection* (ATR). Kelebihan dalam karakteristiknya tersebut membuat pemanfaatan SPR semakin meluas.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak dilaporkan efek absorption enhancement dan fluorescence enhancement dan pemanfaatannya seperti dalam *imaging microscopy*, dioda pengemisi cahaya dan sel surya. Sel surya generasi ketiga, seperti sel surya hibrid dan sel surya tersintesa pewarna (dye sensitized solar cells, DSSC) semakin banyak dikaji akhir-akhir ini. Sel surya tersebut dibangun oleh material amorfus berupa pewarna logam organik yang berperan

sebagai donor dan logam oksida yang berperan sebagai oksida. Karena perwarna logam organik tidak bisa menghantarkan elektron dengan baik, maka bahan ini harus disisipi ke dalam lapisan logam oksida, yang harus dibuat berstruktur nanoporos. Akan tetapi, tentunya tidak mudah untuk memastikan bahwa memang bahan pewarna tersebut dapat menyisip ke dalam struktur nanoporos dari oksida logam tersebut. Salah satu logam oksida yang banyak dikaji adalah ZnO, yang sifat elektroniknya dapat dipengaruhi oleh penambahan dopan logam dan logam transisi. Salah satu metode preparasi ZnO adalah dengan metode *sol-gel*. Pada metode *sol-gel*, jika pengeringan dilakukan pada kondisi kritis, struktur ikatan tetap sehingga struktur poros akan terbentuk [Pardi S.T., 2013].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

- a. Apakah fenomena SPR dapat digunakan untuk membedakan derajat porisitas dalam lapisan oksida logam.
- b. Apakah derajat porisitas lapisan mesoporos ZnO dipengaruhi oleh kadar dopan Aluminium yang ditambahkan ke dalamnya.
- c. Apakah fenomena SPR ini dapat digunakan mendeteksi penetrasi bahan pewarna, seperti *ruthenium dye N719*, di dalam lapisan logam oksida ZnO.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, metode pengukuran spektrum *Surface Plasmon Resonance* dibatasi pada Kretschmann dengan pelat sampel yang berupa gelas/Au/logam oksida. Logam Au yang digunakan dibuat dengan ketebalan 50 nm yang merupakan ketebalan optimum untuk pembangkitan SPR berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Karena spektrometer yang tersedia hanya berkerja dalam rentang cahaya tampak (400 - 900 nm), maka lapisan logam oksida dibuat setipis mungkin sehingga dip dari spektrum SPR yang muncul masih dalam rentang cahaya tampak, tidak bergeser jauh ke daerah cahaya infra merah dekat. Dalam beberapa analisa, diasumsikan juga bahwa indeks bias bahan

tidak terlalu berubah terhadap panjang gelombangnya di dalam rentang pengukuran spektrum tersebut, sehingga dapat dianggap konstan.

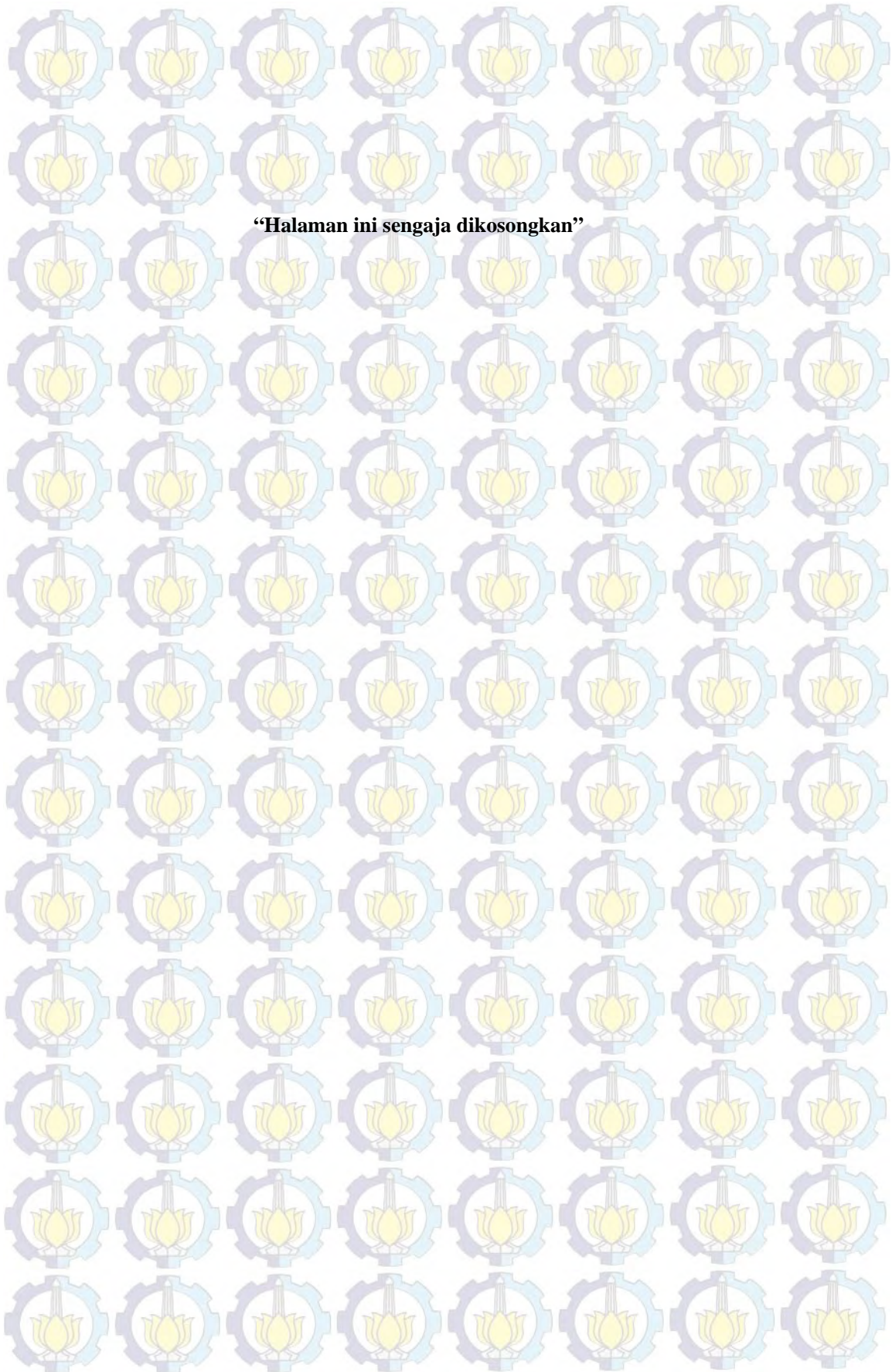
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Menguji penggunaan fenomena SPR dalam membedakan derajat porositas lapisan mesoporos ZnO dengan kadar dopan Aluminium bervariasi.
- b. Menguji penggunaan fenomena SPR untuk mengkaji penetrasi pewarna *Ruthenium dye* di dalam lapisan logam oksida mesoporos ZnO.

1.5 Manfaat Penelitian

Metode ini dapat dimanfaatkan untuk mengkaji derajat porositas yang berukuran nano dari suatu lapisan tipis, yang sulit ditentukan dengan cara pengukuran porositas umumnya. Hal ini mungkin berguna nantinya untuk bagi periset di dalam devais berstruktur nanoporos dalam menentukan derajat nanoporisitas dan efektifitas penetrasi bahan aktif di dalam lapisan nanoporos tersebut.



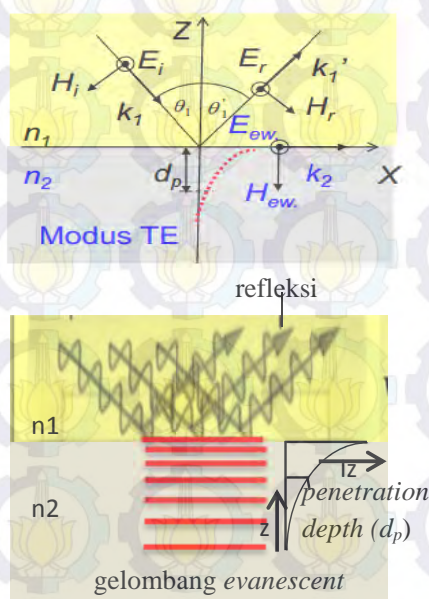
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang *Evanescent*, *Plasmon*, dan *Surface Plasmon Resonance*

Gelombang *Evanescent* adalah gelombang yang merambat di sepanjang permukaan bidang batas antara dua medium berbeda apabila sudut datang melebihi sudut kritis (terjadi peristiwa *Total Internal Reflection*).



Gambar 2.1 Gelombang *Evanescent* [Rahmat Hidayat,2014].

Syarat terjadinya *Total Internal Reflection* (TIR) adalah ketika nilai $n_1 > n_2$, dan $\theta_i > \theta_c$, dengan persamaan medan listrik gelombang evanescent sebagai berikut :

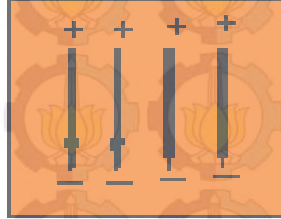
$$E_{ev} = E_{20} e^{-z/\delta} e^{-i(\omega t - k_x x)} \quad (2.1)$$

Penetration depth gelombang evanescent :

$$d_p = \delta = \frac{\lambda_0}{2\pi \sqrt{n_1^2 \sin^2 \theta^2 - n_2^2}} \quad (2.2)$$

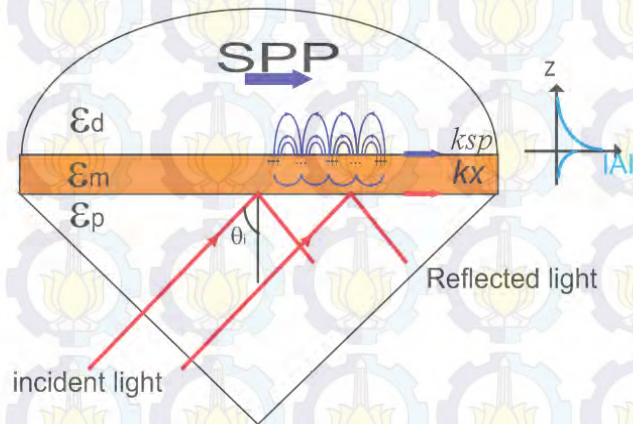
Plasmon adalah osilasi kolektif elektron (ω_p) dalam bulk yang besarnya ditentukan oleh densitas elektron dan massa efektif elektron. Besar frekuensi osilasi kolektif :

$$\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{m_e \epsilon_0}} \quad (2.3)$$



Gambar 2.2 Bulk metal.

Surface Plasmon Resonance (SPR) adalah osilasi terkopel antara plasmon dan gelombang elektromagnetik mode TM pada permukaan bidang batas dielektrik dan metal. *Surface Plasmon Resonance* adalah salah satu metode untuk mengamati perubahan indeks bias di daerah perbatasan logam. Muatan elektron di perbatasan logam dapat melakukan gerakan fluktuasi yang koheren (*Ritchie*), kondisi tersebut ditunjukkan oleh eksperimen *energy-loss* elektron oleh *Powel* dan *Swam*.



Gambar 2.3 Muatan dan medan elektromagnetik *Surface Plasmon* dengan arah penjararan sumbu-x, eksponensial medan listrik sumbu-z.

Persamaan gelombang P medium logam ($z < 0$) :

$$\vec{H}_1 = [0, H_{y1}, 0] \exp i(k_{x1}x - k_{z1}z - \omega t) \quad (2.4)$$

$$\vec{E}_1 = [E_{x1}, 0, E_{z1}] \exp i(k_{x1}x - k_{z1}z - \omega t) \quad (2.5)$$

Persamaan gelombang P medium dielektrik ($z > 0$) ialah:

$$\vec{H}_2 = [0, H_{y2}, 0] \exp i(k_{x2}x - k_{z2}z - \omega t) \quad (2.6)$$

$$\vec{E}_2 = [E_{x2}, 0, E_{z2}] \exp i(k_{x2}x - k_{z2}z - \omega t) \quad (2.7)$$

Dari persamaan Maxwell didapatkan:

$$\nabla \times \vec{E}_i = -\mu_o \frac{\partial \vec{H}_i}{\partial t} \quad (2.8)$$

$$\nabla \times \vec{H}_i = \varepsilon_o \varepsilon_i \frac{\partial \vec{E}_i}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\nabla \cdot \vec{E}_i = 0 \quad (2.10)$$

$$\nabla \cdot \vec{H}_i = 0 \quad (2.11)$$

Syarat kontinuitas bidang batas sebagai berikut:

$$E_{x1} = E_{x2} \quad (2.12)$$

$$H_{y1} = H_{y2} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_1 E_{z1} = \varepsilon_2 E_{z2} \quad (2.14)$$

Dari persamaan Maxwell diatas didapatkan:

$$\frac{\partial H_{yi}}{\partial x} \hat{k} - \frac{\partial H_{yi}}{\partial z} \hat{i} = \varepsilon_o \varepsilon_i \left(\frac{\partial E_{xi}}{\partial t} \hat{i} + \frac{\partial E_{zi}}{\partial t} \hat{k} \right) \quad (2.15)$$

Pada peristiwa pemantulan internal total, gelombang cahaya hanya merambat dalam arah sumbu x sehingga persamaan di atas menjadi :

$$\frac{\partial H_{yi}}{\partial z} = \varepsilon_o \varepsilon_i \omega E_{xi} \quad i=1,2 \quad (2.16)$$

Selanjutnya dapat diperoleh persamaan:

$$k_{z1} H_{y1} = -\varepsilon_o \varepsilon_i \omega E_{x1} \quad (2.17)$$

$$k_{z2} H_{y2} = -\varepsilon_o \varepsilon_i \omega E_{x2} \quad (2.18)$$

Dari hubungan kontinuitas $E_{x1} = E_{x2}$ sehingga didapatkan persamaan:

$$\frac{k_{z1}}{\varepsilon_1} H_{y1} - \frac{k_{z2}}{\varepsilon_2} H_{y2} = 0 \quad (2.19)$$

Dari persamaan di atas diperoleh:

$$\frac{\partial E_{zi}}{\partial y} \hat{i} - \frac{\partial E_{xi}}{\partial y} \hat{k} + \frac{\partial E_{xi}}{\partial z} \hat{j} - \frac{\partial E_{zi}}{\partial x} \hat{j} = i\omega \mu_o H_{yi} \hat{j} \quad (2.20)$$

Jika $i=2$

$$\frac{\partial E_{x2}}{\partial z} - \frac{\partial E_{z2}}{\partial x} = i\omega \mu_o H_{y2} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial E_{x2}}{\partial z} - \frac{\partial E_{z2}}{\partial x} = i\omega \mu_o H_{y2} \quad (2.22)$$

$$k_{z2} E_{x2} - k_{x2} E_{z2} = i\omega \mu_o H_{y2} \quad (2.23)$$

$$H_{y2} = \varepsilon_o \varepsilon_2 \frac{E_{x2}}{k_{z2}} \quad (2.24)$$

Sehingga didapatkan solusi persamaan sebagai berikut:

$$k_{z2}^2 E_{x2} - k_{x2} k_{z2} E_{z2} = \frac{\varepsilon_2 \omega}{c} E_{x2} \quad (2.25)$$

Dari persamaan diatas dari persamaan Maxwell didapatkan:

$$\nabla \cdot \vec{E}_2 = k_{x2} E_{x2} + k_{z2} E_{z2} = 0 \quad (2.26)$$

$$k_{z2}^2 E_{x2} - k_{x2}^2 E_{z2} = \frac{\varepsilon_2 \omega}{c} E_{x2} \quad (2.27)$$

$$k_{zi} = \sqrt{\varepsilon_2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - k_x^2} \quad (2.28)$$

dengan $k_{x1} = k_{x2} = k_x$, vektor gelombang arah x (k_x) adalah:

$$k_{z1}^2 + k_{z2}^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - 2k_x^2 \quad (2.29)$$

dimana $k_{z1}^2 = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right) k_{z2}^2$, sehingga persamaan di atas menjadi:

$$\left(\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}{\varepsilon_2^2}\right) k_{z2}^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - 2k_x^2 \quad (2.30)$$

dan $k_{z2}^2 = \varepsilon_2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - k_x^2$, maka persamaan di atas menjadi:

$$\left(\frac{\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\right) k_x^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \frac{\varepsilon_1(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_2} \quad (2.31)$$

$$k_x^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \quad (2.32)$$

$$k_x = \left(\frac{\omega}{c}\right) \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}} \quad [\text{Heinz Raether, 1988}] \quad (2.33)$$

Kurva dispersi SPR menunjukkan terjadinya osilasi terkopling antara gelombang elektromagnetik mode TM dengan plasmon, sehingga didapatkan persamaan:

$$k_x = k_{sp} \quad (2.34)$$

$$k_x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_p} \sin \theta_o \quad (2.35)$$

$$k_{sp} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_m \varepsilon_d}{\varepsilon_m + \varepsilon_d}} \quad (2.36)$$

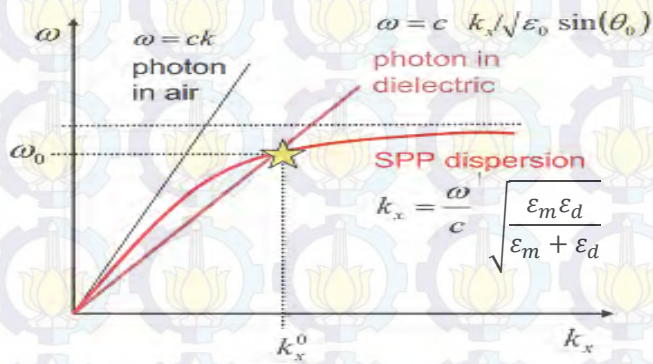
dengan kedalaman penetrasi pada logam adalah:

$$d_{pzm} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\varepsilon_m + \varepsilon_d}{\varepsilon_m^2}} \quad (2.37)$$

Dan kedalaman penetrasi pada sampel (dielektrik) adalah :

$$d_{pzd} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\varepsilon_m + \varepsilon_d}{\varepsilon_m d^2}} \quad (2.38)$$

Pada panjang gelombang 600 nm dengan medium dielektrik udara didapatkan kedalaman penetrasi pada perak $d_{pzm} = 24$ nm dan $d_{pzd} = 390$ nm, pada emas $d_{pzm} = 31$ nm dan $d_{pzd} = 280$ nm [Heinz Rather, 1988].



Gambar 2.4 Kurva dispersi SPR [Heinz Raether, 1988].

2.2 Tetapan Dielektrik Bahan

2.2.1 Tetapan Dielektrik Model Lorentz

Model Lorentz merupakan pemodelan yang cocok digunakan pada bahan dielektrik. Bahan dielektrik adalah bahan yang memiliki susunan elektron terikat (isolator). Dalam model Lorentz, inti atom dianggap tidak mengalami pergeseran dan hanya ada sebuah elektron terluar yang gerakannya dipengaruhi oleh gelombang elektromagnetik datang, gerak elektron terluar berdasarkan hukum Newton II :

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -m\gamma \frac{d\mathbf{r}}{dt} - k\mathbf{r} - e\mathbf{E}_0 e^{j\omega t} \quad (2.39)$$

Solusi persamaan gerak elektron diatas adalah:

$$\mathbf{r} = \frac{e\mathbf{E}_0 e^{j\omega t}}{(\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega)} \quad (2.40)$$

Ketika elektron mengalami pergeseran dari titik pusat atom, maka timbul momen dipol listrik p . Apabila dalam bahan terdapat N atom, maka polarisabilitas makroskopik P adalah:

$$\mathbf{P} = N\mathbf{p} = -Ner.$$

Pergeseran listrik bahan dielektrik :

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \tilde{\varepsilon}_r \mathbf{E} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (2.41)$$

sehingga tetapan dielektrik relatif bahan :

$$\tilde{\varepsilon}_r = 1 + \frac{\mathbf{P}}{\varepsilon_0 \mathbf{E}} = 1 + \frac{Ne^2}{m\varepsilon_0(\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega)} \quad (2.42)$$

Dengan pemisahan suku real dan imajiner yaitu $\tilde{\varepsilon}_r = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2$, diperoleh bahwa:

$$\varepsilon_1 = 1 + \frac{Ne^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{m\varepsilon_0((\omega_0^2 - \omega^2) + \gamma^2\omega^2)} \quad (2.43)$$

dan

$$\varepsilon_2 = \frac{Ne^2\gamma\omega}{m\varepsilon_0((\omega_0^2 - \omega^2) + \gamma^2\omega^2)} \quad [\text{Wooten}] \quad (2.44)$$

2.2.2 Tetapan Dielektrik Model Drude-Lorentz

Model Drude menjelaskan gerakan elektron bebas pada konduktor ketika dikenai gelombang elektromagnetik. Model Drude-Lorentz merupakan penggabungan antara model Drude dan Model Lorentz yang menggambarkan tetapan dielektrik sebagai fungsi frekuensi atau panjang gelombang.

Bentuk lengkap tetapan dielektrik model Drude-Lorentz adalah:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r^{(f)}(\omega) + \varepsilon_r^{(b)}(\omega) \quad (2.45)$$

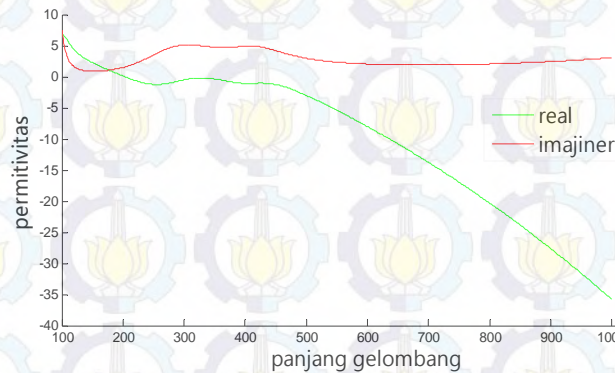
$\varepsilon_r^{(f)}(\omega)$ merupakan model Drude, yang berasal dari absorpsi pembawa muatan dan besarnya adalah:

$$\varepsilon_r^{(f)}(\omega) = 1 - \frac{\Omega_p^2}{\omega(\omega - i\Gamma_0)} \quad (2.46)$$

Dengan $\Omega_p = \sqrt{f_0}\omega_p$ adalah frekuensi plasma yang terkait dengan transisi *intraband*, kekuatan osilator (f_0) dan konstanta redaman (Γ_0).

$\varepsilon_r^{(b)}(\omega)$ merupakan model Lorentz yang berasal dari elektron terikat dan besarnya adalah:

$$\varepsilon_r^{(b)}(\omega) = \sum_{j=1}^k \frac{f_j\omega_p^2}{(\omega_j^2 - \omega^2) + i\omega\Gamma_j} \quad [\text{Wooten}] \quad (2.47)$$



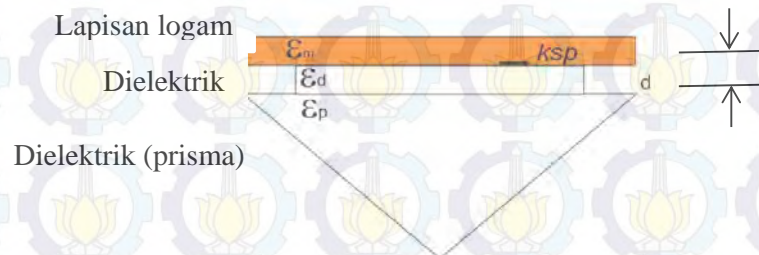
Gambar 2.5 Nilai riil dan imajiner fungsi dielektrik emas terhadap panjang gelombang pada model Drude-Lorentz[Ryan Imansyah, 2010].

$$\epsilon_{\text{Au}} (633 \text{ nm}) = -9.8110 + 1.9645i.$$

2.3 Eksitasi SPR dengan Cahaya Menggunakan Metode Pengkoppel Prisma

Eksitasi SPR dengan cahaya dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengkoppel prisma. Eksitasi SPR dengan cahaya tidak dapat terjadi di udara, hal tersebut diperlihatkan oleh kurva dispersi SPR. Kurva dispersi SPR menunjukkan terjadinya osilasi terkopling antara gelombang elektromagnetik mode TM dengan plasmon, sehingga didapatkan persamaan:

Konfigurasi SPR dengan pengkoppel prisma menggunakan konfigurasi Kretschmann dan konfigurasi Otto. Pada konfigurasi Otto, dielektrik diletakkan diantara prisma dan logam, ketebalan dielektrik sangat diperhitungkan pada konfigurasi Otto. Pada Konfigurasi Kretschmann lapisan logam diletakkan diantara dielektrik dan prisma. Konfigurasi Kretschmann lebih banyak digunakan dalam eksperimen karena dianggap bahwa fenomena SPR lebih mudah teramati.



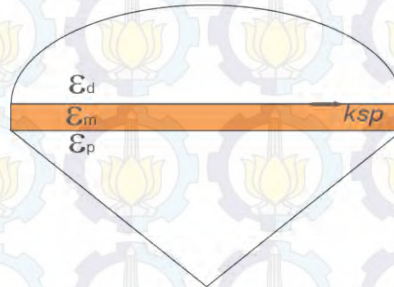
Gambar 2.6 Konfigurasi Otto.

Pada konfigurasi Otto, *surface plasmon* yang dihasilkan meningkat secara eksponensial dari bahan dielektrik ke metal dan berkurang setelah berada pada metal. Kekurangan konfigurasi Otto adalah sulitnya menentukan ketebalan dielektrik yang diletakkan diantara lapisan logam dan prisma.

Dielektrik (sampel)

Lapisan logam

Dielektrik (prisma)



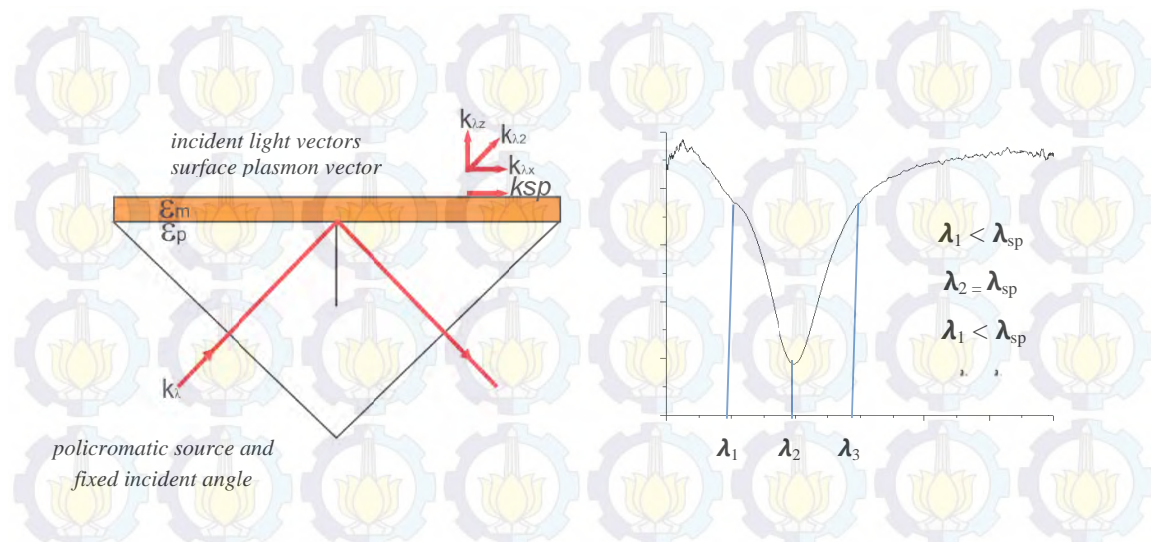
Gambar 2.7 Konfigurasi Kretschmann.

Pada konfigurasi Kretschmann, metal diletakkan diantara dielektrik dan lapisan logam. Penelitian telah banyak dilakukan untuk mendapatkan hasil maksimum *surface plasmon* pada variasi ketebalan lapisan logam, sebagai contoh hasil *surface plasmon* maksimum emas didapatkan pada ketebalan 50 nm. Ketebalan dielektrik tidak diperhitungkan apabila konstanta dielektriknya kurang dari konstanta dielektrik prisma.

2.4 Tipe Penginderaan *Surface Plasmon Resonance*

2.4.1 Penginderaan Spektrum

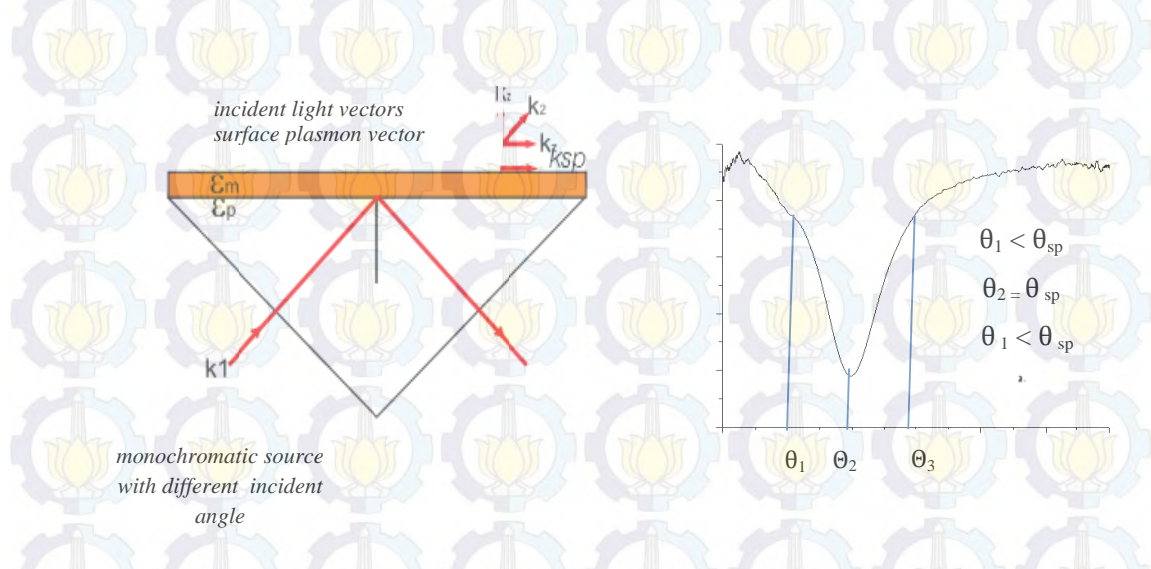
Pada penginderaan spektrum, data yang didapatkan adalah hubungan antara panjang gelombang dan reflektansi dan sumber cahaya yang digunakan adalah polikromatik. Identifikasi perbedaan indeks bias sampel didapatkan dengan membandingkan spektrum pengukuran pada sudut datang yang sama. Perbedaan dip resonansi pada panjang gelombang tertentu menunjukkan adanya perubahan indeks bias sebesar Δn . Konfigurasinya ditunjukkan oleh gambar 2.8, pada gambar ditunjukkan vektor konstanta propagasi diuraikan terhadap panjang gelombang.



Gambar 2.8 Konfigurasi penginderaan spektrum SPR.

2.4.2 Penginderaan Sudut

Pada penginderaan sudut, data yang didapatkan adalah hubungan antara sudut dan reflektansi dan sumber cahaya yang digunakan adalah monokromatik. Identifikasi perbedaan indeks bias sampel didapatkan dengan membandingkan spektrum pengukuran pada variasi sudut datang. Perbedaan dip resonansi pada sudut datang tertentu menunjukkan adanya perubahan indeks bias. Konfigurasinya ditunjukkan oleh gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi penginderaan sudut SPR.

2.5 Persamaan Fresnel *Multibeam Interferometer*

Pemantulan dan pembiasan gelombang elektromagnetik pada medium jamak ditentukan dengan syarat kontinuitas dari komponen vektor medan pada bidang batas dielektik antar medium (*boundary condition*).

Gelombang elektromagnetik memiliki polarisasi medan listrik-magnet tertentu. Polarisasi dibagi menjadi dua yaitu polarisasi dimana vektor tangensial paralel terhadap bidang datang (mode *Transverse Electric*) dan polarisasi dimana vektor tangensial tegak lurus terhadap bidang datang (mode *Transverse Magnetik*).

Dari penurunan persamaan Sinellius dan Fresnel didapatkan koefisien reflektansi mode TM (polarisasi-p) dan mode TE (polarisasi-s) sebagai berikut :

$$r_p = |r_p|e^{-i\Phi t} \quad (2.48)$$

$$r_p = |r_p|e^{-i\Phi t} \quad (2.49)$$

Besarnya koefisien refleksi pada medium jamak ditentukan oleh persamaan:

$$r_{s,p} = \frac{r_{12} + r_{23} \exp(2ik_{z1}d)}{1 + r_{12}r_{23} \exp(2ik_{z1}d)} \quad (2.50)$$

$$r_{ij} = \frac{Z_i - Z_j}{Z_i + Z_j} \quad (2.51)$$

Nilai admitansi polaritas-p dan polaritas-s sebagai berikut :

$$\eta Z_k^s = \left(\frac{\epsilon_k}{\mu_k}\right)^{1/2} \cdot \cos \theta_k = (\epsilon_k - \epsilon_1 \sin^2 \theta_1)^{1/2} \quad \text{polarisasi-p} \quad (2.52)$$

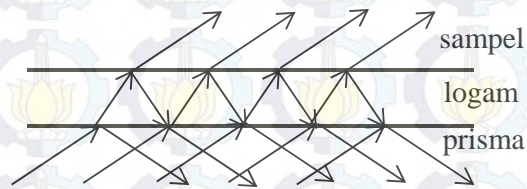
$$\eta_k^s = \left(\frac{\epsilon_k}{\mu_k}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{\cos \theta_k} = \frac{\epsilon_k}{\eta_k^s} \quad \text{polarisasi-s} \quad [\text{M.Kanso dkk,2008}] \quad (2.53)$$

Sehingga nilai impedansi dapat dinyatakan dengan:

$$Z_i = \epsilon_i / k_{zi} \quad \text{polarisasi-p} \quad (2.54)$$

$$Z_i = k_{zi} \quad \text{polarisasi-s} \quad (2.55)$$

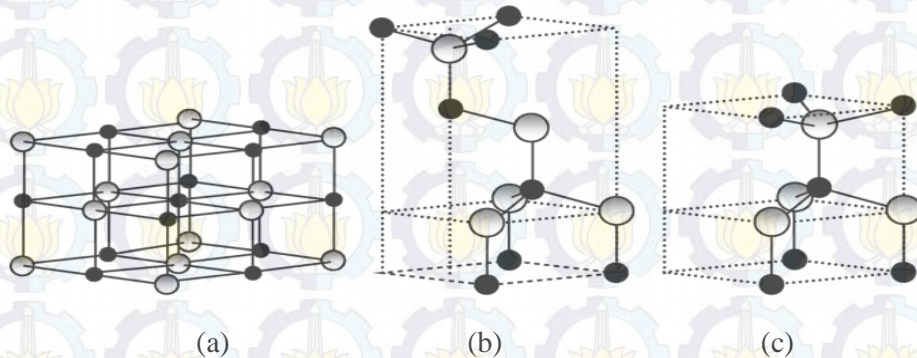
Dimana Z adalah nilai impedansi, k_{zi} komponen vector propagasi pada i_{th} bidang normal metal seperti yang ditunjukkan Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Multibeam interferometer.

2.6 Logam Oksida ZnO

ZnO merupakan bahan semikonduktor golongan II-VI dengan lebar pita energy sebesar 3,4 eV dan memiliki energi eksiton yang cukup besar yaitu 60 meV. ZnO dapat memiliki struktur kristal berbentuk *rocksalt*, *zinc blende*, dan *wurtzite*.



Gambar 2.11 (a) *cubic rocksalt*, (b) *cubic zinc blende*, dan (c) *hexagonal wurtzite*. Bulatan abu-abu dan hitam menunjukkan atom Zn dan O [Hadis MorkoC, 2007].

Sebagai bahan semikonduktor dengan energi gap langsung yang besar serta energy ikat eksiton yang besar ZnO banyak diaplikasikan pada berbagai divais elektrik dan optik meliputi sensor, transistor, sel surya dan lain sebagainya. ZnO memiliki cakupan sifat listrik dan optik yang luas, yang salah satunya dipengaruhi oleh penambahan bahan dopan. ZnO dapat bersifat konduktif maupun semikonduktor. ZnO telah dicoba untuk dibentuk semikonduktor tipe-n dan tipe-p dengan penambahan bahan dopan, namun untuk tipe-p masih sulit dilakukan [Lukas S., 2007]. Mobilitas elektron pada ZnO dipengaruhi oleh cacat kristal yang dimilikinya, keberadaan cacat ini memberikan level energi tambahan pada pita energinya sehingga memicu *trapping* elektron. Sifat optik ZnO dipengaruhi oleh

besar energi gap, rapat keadaan energi, serta keberadaan level energi akibat cacat yang dimilikinya. ZnO memiliki sifat transparan yang baik pada panjang gelombang cahaya tampak (400-800 nm) terkait dengan energi gapnya yang besar dan dapat mengemisikan cahaya hijau melalui peristiwa luminisensi. Penambahan dopan juga dapat berpengaruh pada morfologi permukaan lapisan tipis ZnO [Pardi S.T., 2013].

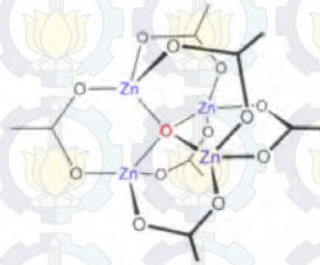
2.7 Sintesis Nanokristal ZnO dengan Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membentuk struktur nano ZnO. Metode sol-gel merupakan metode dengan cara melarutkan senyawa ke dalam fase larutan encer kemudian dibiarkan agar pelarutnya menguap sehingga terjadi reaksi yang berlangsung secara bertahap dalam jangka waktu tertentu dan membentuk gel. Dengan metode sol-gel didapatkan precursor gel ZnO, kemudian dapat diubah menjadi bubuk atau lapisan tipis.

Dalam metode sol-gel terjadi pembentukan ikatan rantai oksida melalui reaksi hidrolisa dan polikondensasi senyawa precursor. Sol (*solution*) adalah larutan senyawa atau dispersi stabil partikel dengan interaksi antar partikel berupa interaksi lemah, seperti interaksi Van Der Waals dan ikatan hydrogen. Pada fase sol dapat terjadi peristiwa agregasi (*aggregation*). Sedangkan pada fase gel terjadi ikatan tiga dimensi yang kontinyu yang terbentuk oleh ikatan kovalen. Pada fase gel dikeringkan dengan cara pemanasan, gaya kapilaritas akan mengakibatkan penyusutan, ikatan gel akan kolaps dan *xerogel* terbentuk. Jika pengeringan dilakukan pada kondisi kritis, ikatan tetap sehingga struktur poros terbentuk atau dikenal dengan *aerogel*. Berbagai macam struktur dapat diperoleh dengan melakukan kontrol stokiometri pada fase sol.

Dalam metode sol-gel pembentukan ZnO, senyawa precursor berupa logam organik, seperti Zinc acetate dehydrate ($\text{Zn}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dilarutkan ke dalam pelarut organik, seperti *ethanol*. Di dalam pelarut larutan terbentuk komponen asetat dan ion asetat yang berada pada keadaan setimbang. Ion Zn^{2+} dapat terhubung pada ion asetat sebagai *zinc hydroxide*. Ion Zn^{2+} dapat juga terikat pada gugus *ethanol* [T. Jesper J., 2009].

Partikel ZnO terbentuk dari partikel kecil yang disebut sebagai nukleus awal (*initial nuclei*). Ada beberapa bentuk *initial nuclei*, diantaranya adalah *basic zinc acetate* ($\text{Zn}_4\text{O}(\text{OAc})_6$), *hologue* besar ($\text{Zn}_{10}\text{O}_4(\text{OAc})_{12}$), *ethoxy-acetate complex* ($(\text{EthOZnAc})_n$). Struktur *basic zinc acetate* ditunjukkan Gambar 2.12.

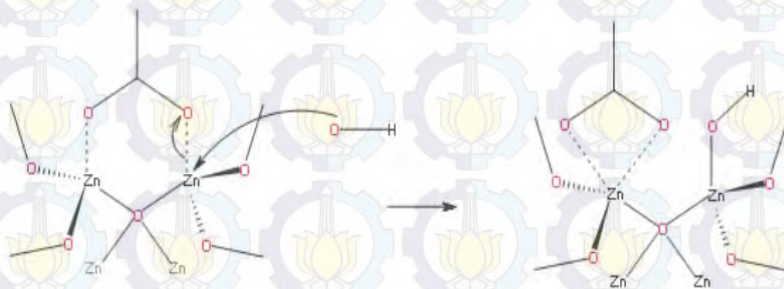


Gambar 2.12 Struktur molekul *basic zinc acetate* [T. Jesper J., 2009].

Proses pengadukan precursor dalam pelarut merupakan tahap yang penting untuk pembentukan *initial nuclei*. Stokiometri pembentukan $\text{Zn}_4\text{O}(\text{OAc})_6$ adalah sebagai berikut:

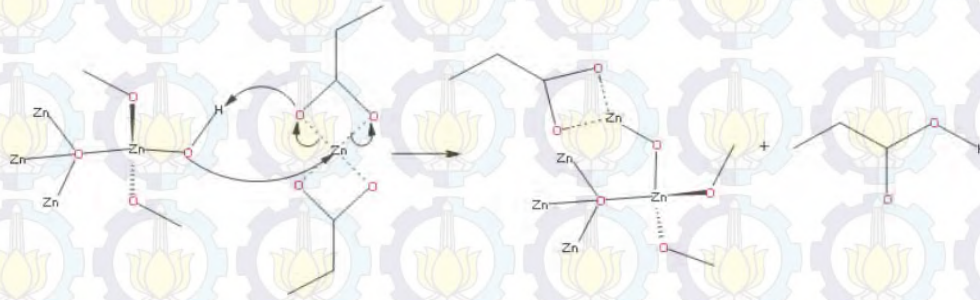


Pembentukan *initial nuclei* $\text{Zn}_4\text{O}(\text{OAc})_6$ tidak memerlukan suhu tinggi dan dapat dilakukan pada suhu ruang. Pembentukan *initial nuclei* akan diikuti dengan pertumbuhan partikel. Agar pertumbuhan partikel terjadi, atom Zn dan O harus terhubung dengan struktur. Atom Zn umumnya bersumber dari $\text{Zn}(\text{OAc})_2$ kompleks, sedangkan O bersumber dari ion hidroksida (air) dan kandungan air akan sangat berpengaruh pada laju pertumbuhan ZnO. Gambar 2.13 menunjukkan mekanisme awal pertumbuhan partikel ZnO, dimana OH^- akan berikatan dengan salah satu atom Zn, sehingga salah satu gugus CH_3COO^- terlepas dalam larutan.



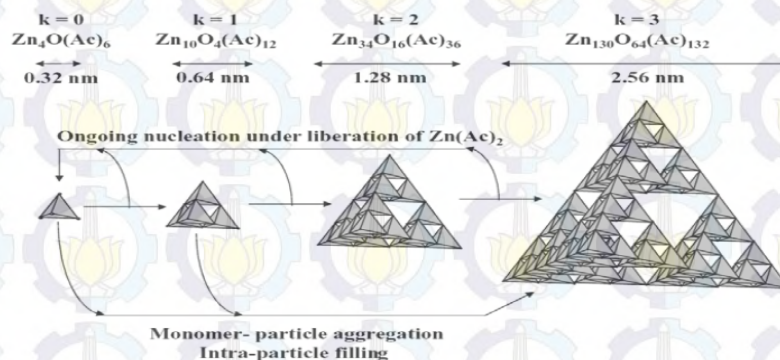
Gambar 2.13 Mekanisme awal pertumbuhan partikel [T. Jesper J., 2009]

Mekanisme terkoneksiya atom Zn ditunjukkan Gambar 2.14. Ketika $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ mencapai struktur Zn-OH , pasangan elektron bebas akan melakukan nucleophile attack pada atom Zn di dalam $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, yang disertai dengan pelepasan asam asetat (CH_3COOH). Reaksi tersebut kemudian bisa diikuti dengan pembentukan ikatan rangkap ion asetat pada atom Zn lainnya.



Gambar 2.14 Mekanisme koneksi atom Zn [T. Jesper J., 2009].

Mekanisme pertumbuhan nanokristal ZnO tidaklah bersifat satu dimensi seperti yang diprediksikan oleh Oswald, melainkan merupakan suatu proses agregasi tiga dimensi dari beberapa klaster kecil menjadi sebuah klaster yang berukuran besar, seperti yang ditunjukkan gambar 2.15 . Pada umumnya, ukuran partikel yang lebih kecil dari 2,5 nm tidak dapat diperoleh karena ZnO bersifat tidak stabil dan reversible [T. Jesper J., 2009].

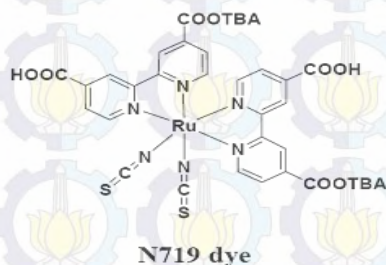


Gambar 2.15 Mekanisme pertumbuhan nano kristal ZnO [Spanhell L.,2006].

2.8 Pewarna (*Ruthenium Dye*)

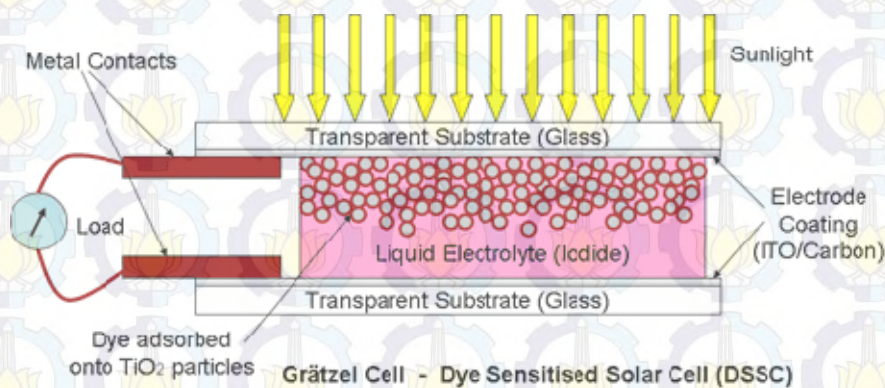
Pada DSSC, pewarna yang umum digunakan adalah jenis metal organik *Ruthenium* kompleks seperti gambar 2.16 , yang tereksitasi dengan penyerapan

cahaya (foton). Waktu hidup keadaan eksitasinya adalah dalam orde nanosekon. Konsentrasi pewarna dalam nanopori elektroda dan koefisien absorpsi ditentukan oleh banyaknya cahaya yang diserap oleh lapisan. Oleh karena itu pewarna harus memiliki koefisien absorpsi di daerah cahaya tampak serta afinitas yang tinggi terhadap elektroda untuk menjamin permukaan elektroda tertutup rapat [Herlin P., 2014].

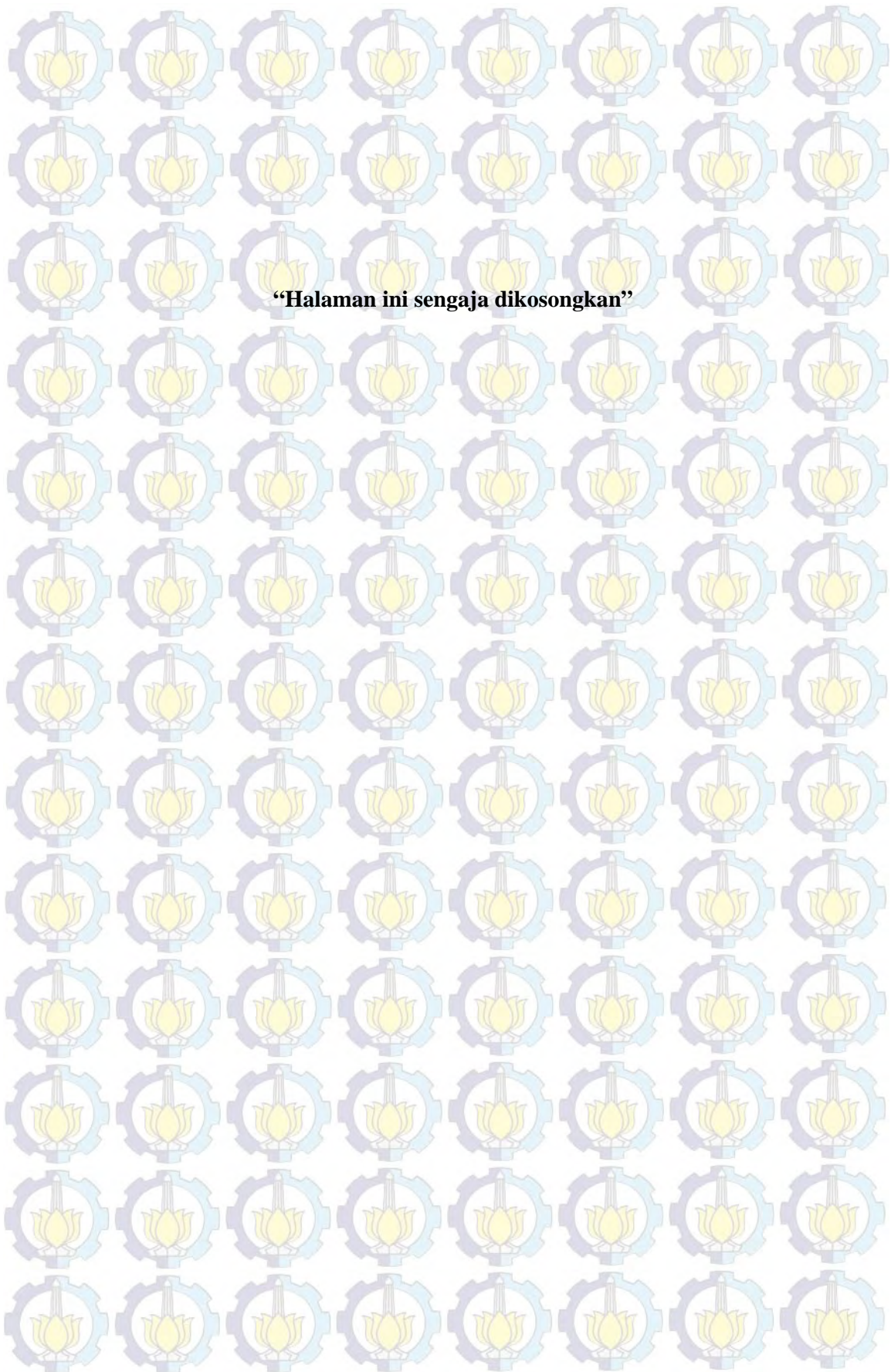


Gambar 2.16 Struktur kimia pewarna *Ru* [J. Bisquert, 2002].

Mekanisme DSSC salah satunya melibatkan transfer muatan antara persambungan oksida logam/lapisan *dye*/elektrolit. Contoh pada kasus *dye* dengan lapisan nano TiO_2 sebagai oksida logam, *dye* terikat didalam monolayer pada lapisan porous dari nano partikel TiO_2 memiliki daerah area permukaan antara 20 sampai 30 kali lebih besar daripada area permukaan keadaan *single* kristal.



Gambar 2.17 Struktur DSSC [Elektropedia].



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian antara lain aquades, etanol, kloroform, aseton, substrat kaca, *zinc oxide dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), AlCl_3 , 2-methoxyethanol, diethanolamine (DEA), dan *ruthenium dye*.

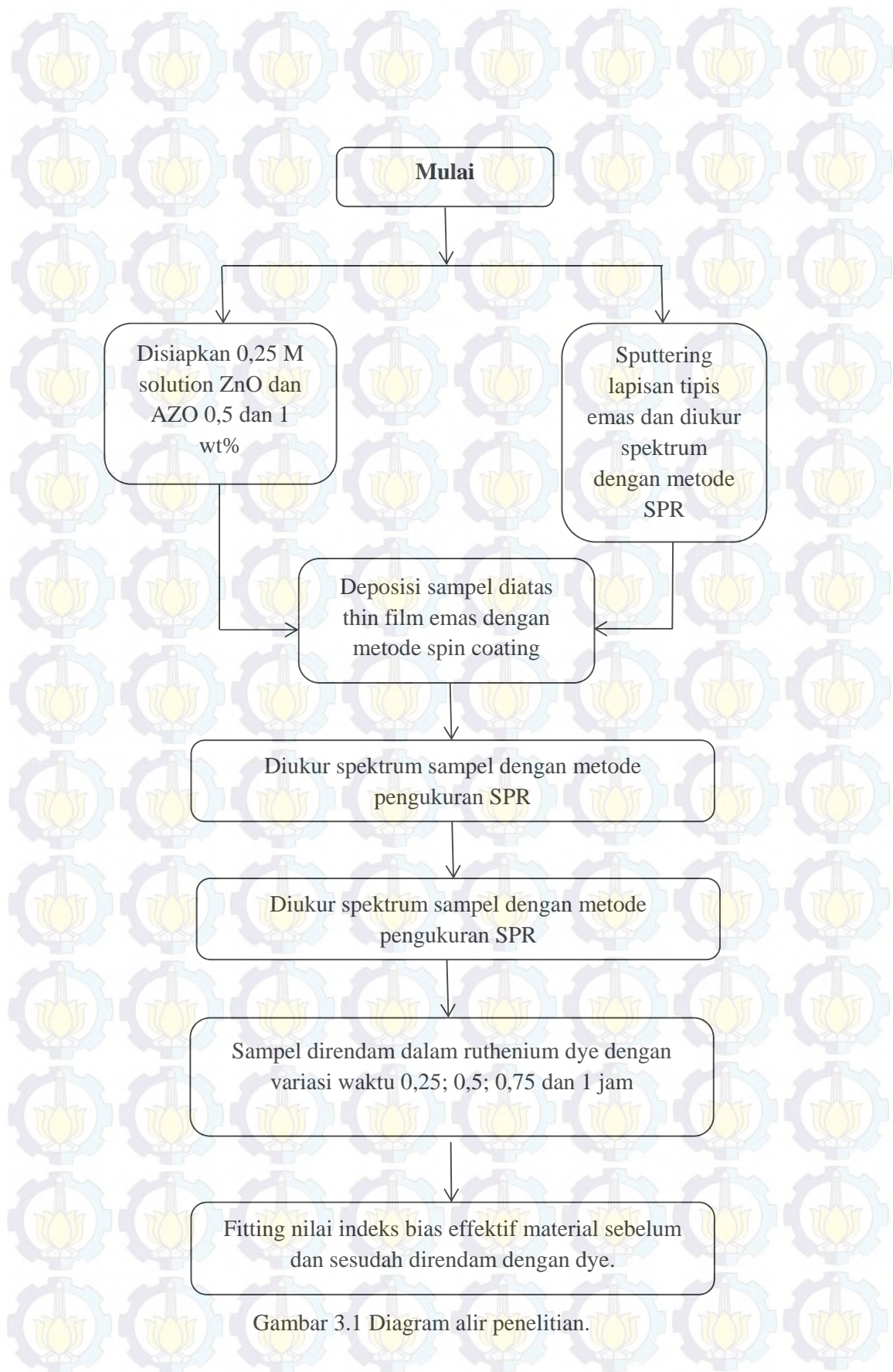
Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah botol vial, *pin set*, spatula, *syringe*, *magnetic bar*, *ultrasonic cleaner*, *sputtering*, neraca timbang, *magnetic stirrer*, *spin coating*, *hot plate*, *glove box*, pemanasan inert dengan menggunakan gas Argon, lampu *tungsten*, polarisator, *slit*, prisma BK-7, *fiber optic*, detektor USB 2000, *rotating control* sensor dan sampel, nanoCalc, CCD (spektrometer *Near-Visible*), dan komputer.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Sputtering lapisan tipis emas diatas substrat kaca di LIPI Bandung.
2. Sintesis ZnO, AZO 0.5 dan 1 wt% dengan metode *sol-gel* dan deposisi dilakukan dengan *spin coating* dari prekursoranya.
3. Perendaman sampel pada *ruthenium dye* dengan variasi waktu perendaman.
4. Pengukuran spektrum masing-masing sampel dengan metode pengukuran SPR di laboratorium optik dan spektroskopi jurusan fisika ITB.
5. Membandingkan spektrum hasil penginderaan SPR dan hasil simulasi.
6. Fitting hasil pengukuran SPR untuk menentukan konstanta dielektrik efektif sampel.

Langkah-langkah penelitian diatas ditunjukkan oleh diagram alir penelitian Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Sputtering Lapisan Tipis Emas

Lapisan thin film emas dideposisikan dengan metode *sputtering* pada substrat kaca 1.25x1.25 cm². Sebelum dideposisikan pada substrat kaca, substrat kaca dicuci menggunakan *tipol*, dibilas dengan aquades dan etanol sebelum dimasukkan kedalam campuran aseton dan isopropanol untuk dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 15 menit. Adapun tahap-tahap dalam proses *sputtering* sebagai berikut:

1. Ion-ion dibangkitkan oleh gas plasma diarahkan ke target.
2. Ion-ion mensputter atom-atom target.
3. Atom-atom yang terijeksi diarahkan ke substrat.
4. Atom-atom terkondensasi dan membentuk *thin film* (M.Ranjitkumar).

Sputtering thin film emas dilakukan di LIPI Bandung

3.3.2 Sintesis Alumunium-doped ZnO (AZO) dengan Metode Sol-Gel

Alumunium-doped AZO precursor solution dibuat dengan melarutkan 0.25M *zinc Acetate dehydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dalam *anhydrous 2-Methoxyethanol* dengan *diethanolemine* (DEA) sebagai *stabilizer*. Larutan *stock AlCl₃* ditambahkan pada *solution* dan campuran *solution* diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 24 jam sampai didapatkan *solution* yang bening dan transparan [Annisa Aprilia, 2013]. Larutan *stock AlCl₃* dibuat dengan menimbang padatan AlCl_3 di dalam *glove box*. Hal tersebut dilakukan karena AlCl_3 sangat reaktif dengan udara bebas. Variasi AlCl_3 yang ditambahkan pada *solution* adalah 0, 0.5 dan 1wt%.

3.3.3 Deposisi AZO pada Lapisan Tipis Emas

Deposisi AZO dilakukan dengan metode *spin coating*. *Precursor solution* AZO dideposisikan dengan *spin coating* dengan kecepatan 500 rpm selama 30 sekon didapatkan lapisan tipis dengan ketebalan orde nano. AZO yang telah dideposisikan diatas lapisan *thin film* emas diberi perlakuan *thermal* bertahap. Pertama, AZO dipanaskan pada suhu 100°C selama 10 menit dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air serta sisa pelarut secara bertahab. Tahap kedua, AZO

dipanaskan pada suhu 295°C selama 15 menit dengan tujuan menghilangkan pelarut *2-Methoxyethanol*, sisa-sisa organik dan DEA, pada tahap ini mulai terbentuk AZO tetapi dengan ukuran butir yang kecil. Tahap terakhir yaitu dipanaskan pada suhu 500°C selama 30 menit dengan tujuan untuk membentuk ukuran butir yang lebih besar sehingga didapatkan lapisan dengan ketebalan yang sangat tipis.

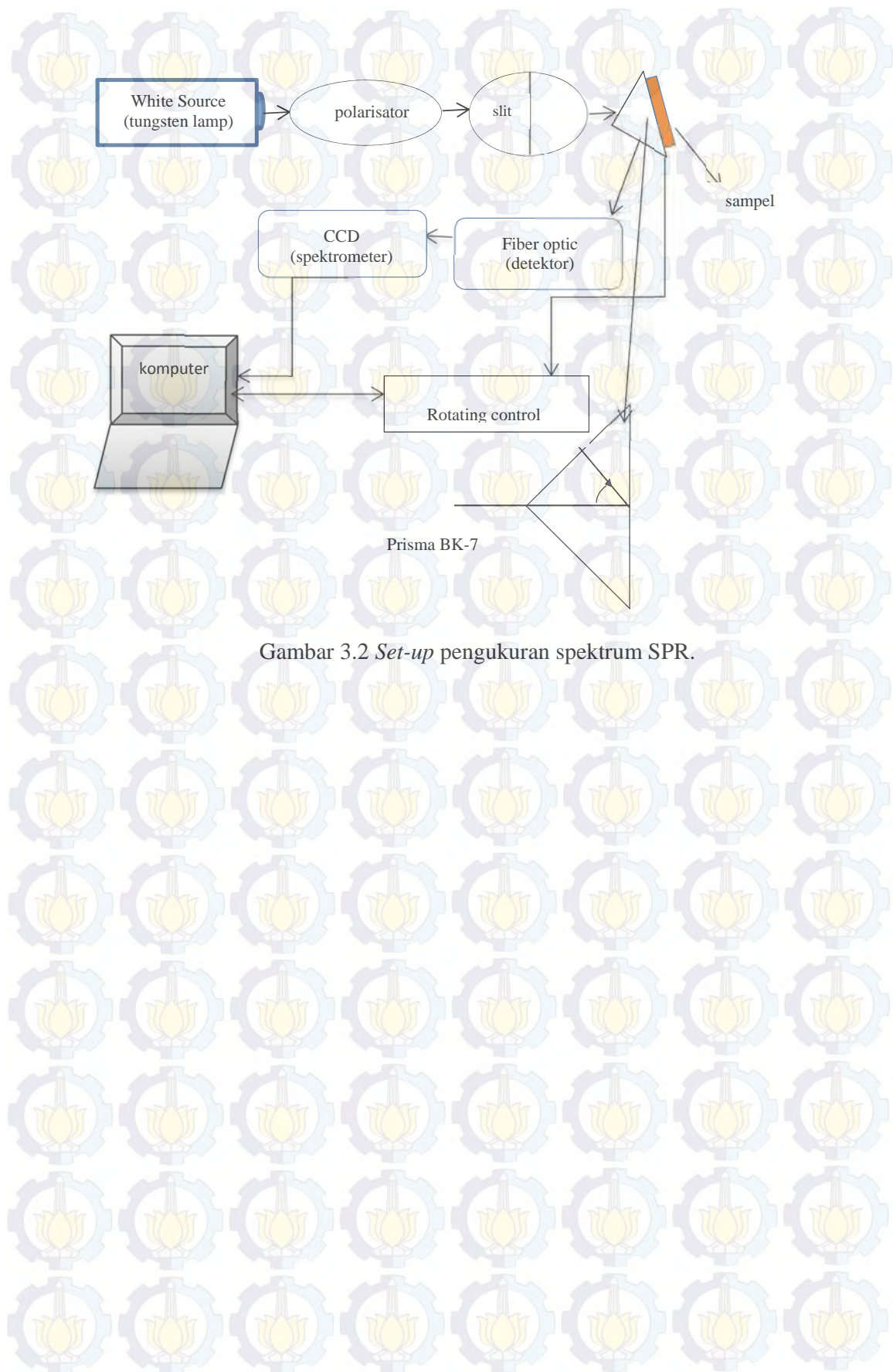
3.3.4 Perendaman Sampel pada Pewarna *Ruthenium Dye*

Pewarna yang digunakan dalam penelitian adalah *ruthenium dye* N719. 3,3 mg N719 dilarutkan dalam 4 ml ethanol. Campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Thin film emas yang dilapisi AZO 0,5 wt% direndam dengan variasi waktu 0,25; 0,5; 0,75 dan 1 jam. Setelah direndam sampel dibilas dengan menggunakan etanol.

3.3.5 Pengukuran Spektrum Sampel dengan Metode Pengukuran *Surface Plasmon Resonance*.

Konfigurasi pengukuran spectral SPR sensing dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya polikromatik (*tungsten*) yang disusun sebagai objek statis, sedangkan prisma dan detektor disusun sebagai objek dinamis. Dalam susunan set-up SPR perlu diperhatikan *alignment* antara sumber cahaya dengan material yang akan disensing, pergeseran sedikit saja akan menyebabkan perubahan pada hasil pengukuran.

Prinsip pengukurannya adalah cahaya polikromatik yang terpantul dari prisma ditangkap oleh detektor serat optik kemudian sinyal dikirim ke spektrometer melalui serat optik dan diolah menjadi data spektrum cahaya. Perangkat lunak *Ocean Optics* akan memperlihatkan hubungan antara intensitas, reflektansi, absorbansi, dan transmitansi terhadap panjang gelombang. Adapun set-up pengukuran SPR ditunjukkan Gambar 3.1.



Gambar 3.2 *Set-up* pengukuran spektrum SPR.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

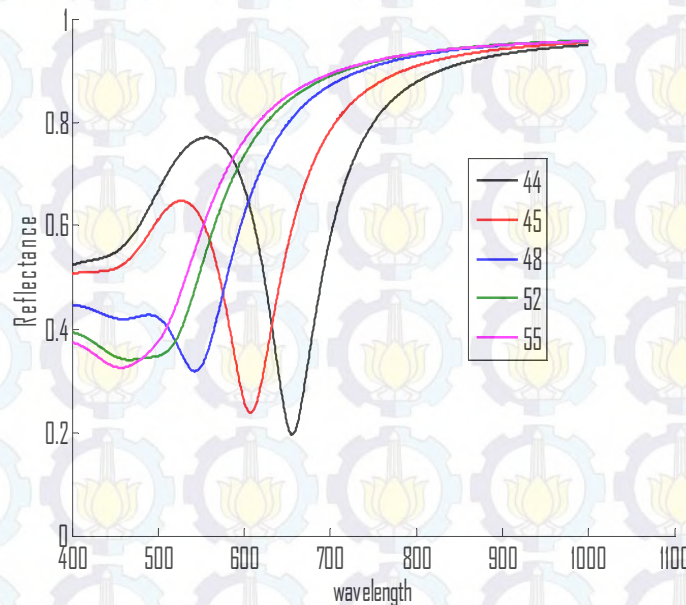
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

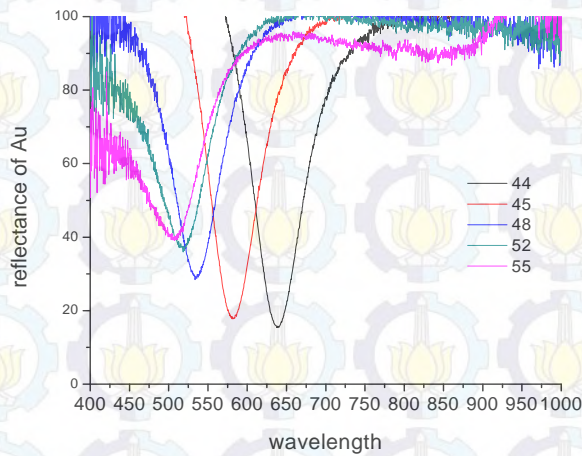
4.1 Hasil Simulasi dan Eksperimen Spektrum SPR BK-7/Au/Udara

Untuk dapat mendapatkan gambaran awal bentuk dan karakteristik spektrum SPR dari konfigurasi SPR BK-7/Au/Udara yang akan muncul, mula-mula dilakukan perhitungan simulasi spektrum SPR. Perhitungan ini didasari oleh model Drude-Lorentz seperti yang telah dijelaskan pada Bab II, dengan parameter untuk metal Au seperti dalam Lampiran 1.

Spektrum hasil simulasi untuk konfigurasi BK-7/Au/udara ditunjukkan oleh Gambar 4.1 (a). Terlihat bahwa dip spektrum SPR bergeser ke panjang gelombang lebih pendek dengan membesarnya sudut datang. Hasil simulasi tersebut kemudian digunakan sebagai perbandingan dengan spektrum SPR hasil eksperimen yang ditunjukkan dalam 4.1 (b). Perbandingan dip spektrum SPR hasil simulasi dan eksperimen tersebut ditabulasikan dalam Table 4.1.



(a)



(b)

Gambar 4.1 (a) Spektrum SPR hasil perhitungan simulasi dan (b) spektrum SPR hasil eksperimen untuk konfigurasi BK-7/Au/Udara.

Tabel 4.1 Perbandingan dip spektrum SPR hasil simulasi dan eksperimen.

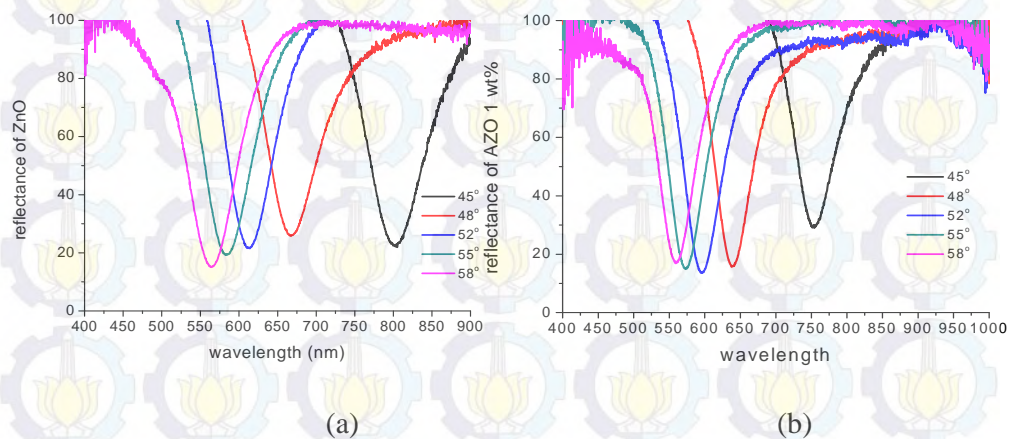
Sudut datang	Hasil simulasi	Hasil eksperimen
44	657 nm	638 nm
45	608 nm	582 nm
48	544 nm	534 nm
52	501 nm	518 nm
58	501 nm	507 nm

Dari Tabel 4.1 terlihat sedikit perbedaan dip spektrum SPR antara hasil simulasi dan hasil eksperimen terhadap sudut datang prisma. Perbedaan dip spektrum SPRnya antara 6-26 nm. Hal tersebut dapat terjadi karena model Drude-Lorentz dan parameter yang digunakan belum cocok sekali dengan karakteristik lapisan emas, yang dalam hal ini hanya memiliki ketebalan 50 nm. Dip spektrum SPR bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil apabila sudut datang prisma semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan teori yang terkait dengan kondisi resonansi, seperti yang telah dijelaskan pada Bab II, bahwa semakin besar sudut

prisma, nilai konstanta propagasi k_x akan semakin besar sehingga dip spektrum SPR akan terjadi pada panjang gelombang yang lebih kecil.

4.2 Hasil Pengukuran Spektrum BK-7/Au/AZO

Sampel yang diuji dalam eksperimen adalah ZnO dengan variasi kadar dopan Aluminium 0, 0,5 dan 1 wt%. Sampel tersebut digunakan sebagai transport elektron pada sel surya. Hasil spektrum SPR sampel ditunjukkan gambar 4.2.



Gambar 4.2 (a) Spektrum SPR BK-7/Au/ZnO dan (b) Spektrum SPR BK-7/Au/AZO 1 wt%.

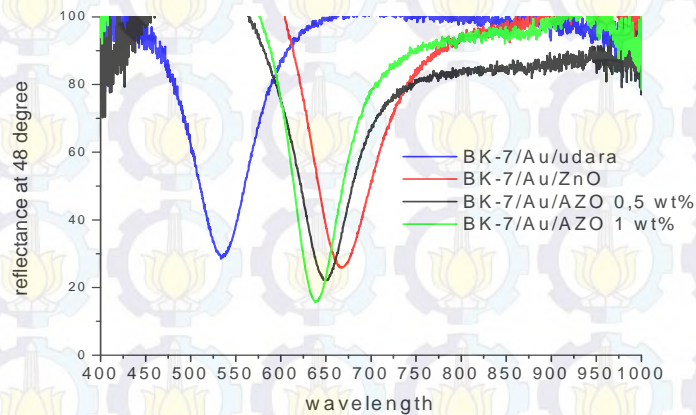
Gambar 4.2 (a) menunjukkan spektrum SPR lapisan tipis emas yang dilapisi ZnO dan 4.2 (b) lapisan tipis emas yang dilapisi AZO 1 wt%. Dari hasil spektrum SPR terlihat perbedaan dip spektrum SPR pada berbagai sudut datang prisma, sesuai dengan kondisi spektrum SPR yang diberikan oleh persamaan (2.44). Posisi dip bergeser ke panjang gelombang lebih kecil dengan membesarnya sudut datang prisma. Akan tetapi, dip resonansi spektrum SPR dalam Gambar 4.2 (a) muncul pada rentang panjang gelombang lebih besar. Hal tersebut terjadi karena perbedaan indeks bias efektif lapisan ZnO dengan indeks bias efektif lapisan AZO 1 wt% yang membentuk lapisan dielektrik dalam konfigurasi Kretschmann seperti dalam Gambar 2.7. Pada sudut datang prisma tertentu, semakin besar indeks bias lapisan dielektriknya, maka dip SPR akan muncul pada panjang

gelombang yang lebih besar. Data perbedaan dip spektrum SPR spektrum diatas ditabulasikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dip spektrum SPR spektrum SPR Gambar 4.2 (a) dan (b).

Sudut datang	BK-7/Au/ZnO	BK-7/Au/AZO 1 wt%
45	805 nm	754 nm
48	667 nm	638 nm
52	613 nm	596 nm
55	583 nm	572 nm
58	564 nm	559 nm

Data spektrum AZO 0,5 wt% menunjukkan sedikit perbedaan seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Data eksperimen menunjukkan, pada sudut datang prisma tertentu, semakin tinggi kadar dopan Alumunium, dip spektrum SPR semakin bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil.

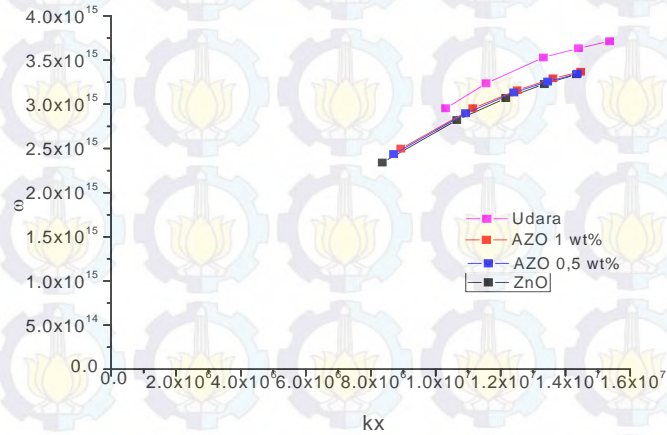


Gambar 4.3 Spektrum SPR sampel pada sudut datang prisma 48 derajat.

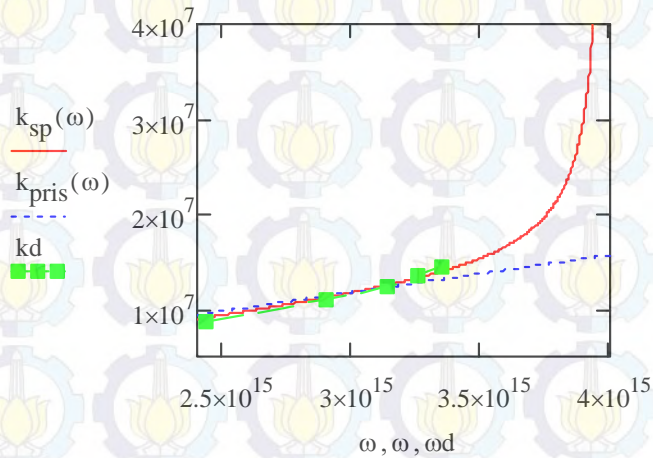
4.3 Kurva Dispersi SPR

Untuk memahami karakteristik pergeseran dip SPR ini, dari data spektrum SPR dibuatlah kurva dispersi SPR seperti dalam Gambar 4.4 Kurva dispersi menunjukkan hubungan antara konstanta propagasi k_x dan frekuensi ω . Kurva

dispersi sering digunakan dalam proses fitting untuk menentukan indeks bias suatu material yang diuji. Pada pengukuran spektrum SPR didapatkan dip yang menunjukkan nilai resonansi gelombang elektromagnetik datang dengan gelombang *surface plasmon*. Dari data eksperimen didapatkan pola kurva dispersi masing-masing sampel sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Kurva dispersi hasil eksperimen dan (b) Kurva dispersi untuk lapisan AZO 0.5 wt% dan kurva dispersi hasil perhitungan teoretiknya . Kotak hijau, garis putus-putus biru, dan garis merah menunjukkan kurva dispersi dari perhitungan hasil eksperimen, gelombang elektromagnetik datang, dan gelombang surface plasmon.

Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan kurva dispersi dari masing-masing sampel dengan kadar dopan Alumunium yang berbeda. Masing-masing kurva dispersi tersebut ternyata dapat dicocokkan dengan kurva dispersi hasil perhitungan teoritik yang diberikan oleh persamaan (2.46), seperti yang terlihat dalam Gambar 4.4 (b). Dalam hal ini kita menganggap bahwa permitivitas relatif (atau indeks bias $n = \sqrt{\epsilon_r}$) dari sampel-sampel tersebut tidak terlalu berubah terhadap panjang gelombang pada rentang pengukuran yang dilakukan, yaitu pada rentang 400-900 nm. Kurva dispersi tersebut menunjukkan bahwa permitivitas lapisan AZO sedikit mengecil dengan meningkatnya kadar dopan Alumunium, seperti ditunjukkan oleh Gambar 5. Akan tetapi, perlu diperhatikan bahwa karena lapisan yang terbentuk sangat tipis maka *overlapping* antara lapisan dan gelombang SPR yang terbentuk sangatlah kecil, seperti diilustrasikan oleh inset dari Gambar 4.5. Oleh karena itu, indeks bias efektif dari lapisan tersebut akan lebih kecil dari indeks bias AZO yang sesungguhnya.

Pada perhitungan secara teoritik dari hasil data eksperimen, kami melakukan *refinement* lanjut untuk menentukan indeks bias efektif AZO. Salah satu hasil *refinement* ditabulasikan oleh Tabel 4.3.

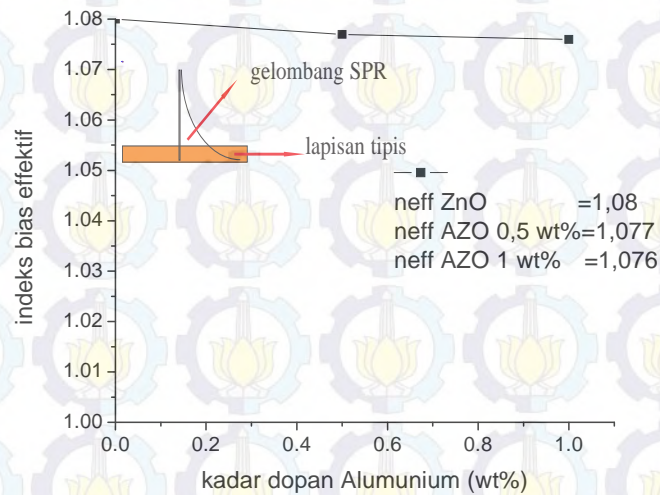
Tabel 4.3 *Refinement* indeks bias efektif AZO 0,5 wt%.

Dip spektrum (nm)	$\epsilon_{\text{real Au}}$	$\epsilon_{\text{eff AZO 0,5 wt\%}}$	$n_{\text{eff AZO 0,5 wt\%}}$
773	-18.438	1.085	1.041
650	-10.78	1.158	1.076
601	-8.096	1.229	1.109
579	-6.867	1.301	1.141
563	-6.034	1.366	1.169

Tabel 4.3 menunjukkan adanya pergeseran indeks bias efektif pada dip spektrum panjang gelombang yang berbeda. Secara teoritik, cepat rambat gelombang pada medium dispersif berubah bergantung frekuensi gelombang datang yang diberikan. Cepat rambat berubah adalah identifikasi bahwa indeks bias medium gelombang merambat juga berubah. Pada daerah cahaya tampak

AZO memiliki nilai tranparansi yang cukup tinggi, dari Tabel 4.3 terlihat bahwa indeks bias AZO tidak naik secara drastis pada rentang 400-900 nm.

Dari perhitungan indeks bias efektif Tabel 4.3 dan spektrum SPR Gambar 4.3 dapat digambarkan kurva hubungan antara indeks bias efektif terhadap kadar dopan Alumunium (wt%).

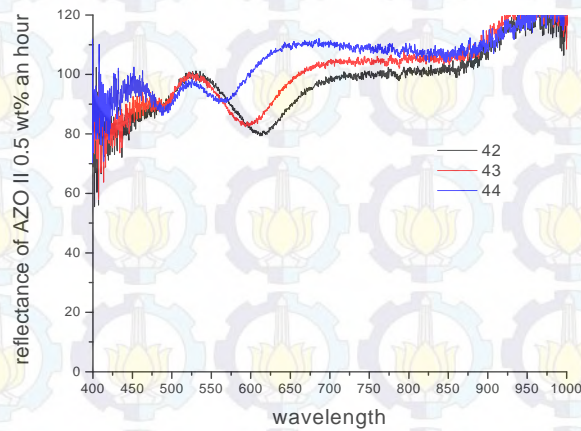


Gambar 4.5 Indeks bias efektif AZO terhadap kadar dopan Alumunium (wt%).

4.4 Spektrum SPR Sampel dengan Pewarna *Ruthenium Dye N719*

Sampel AZO direndam dalam ruthenium dye N719 untuk mengetahui seberapa besar yang terabsorpsi dalam pori-pori AZO. Variasi waktu perendaman yaitu 0,25; 0,5; 0,75 dan 1 jam.

(a)

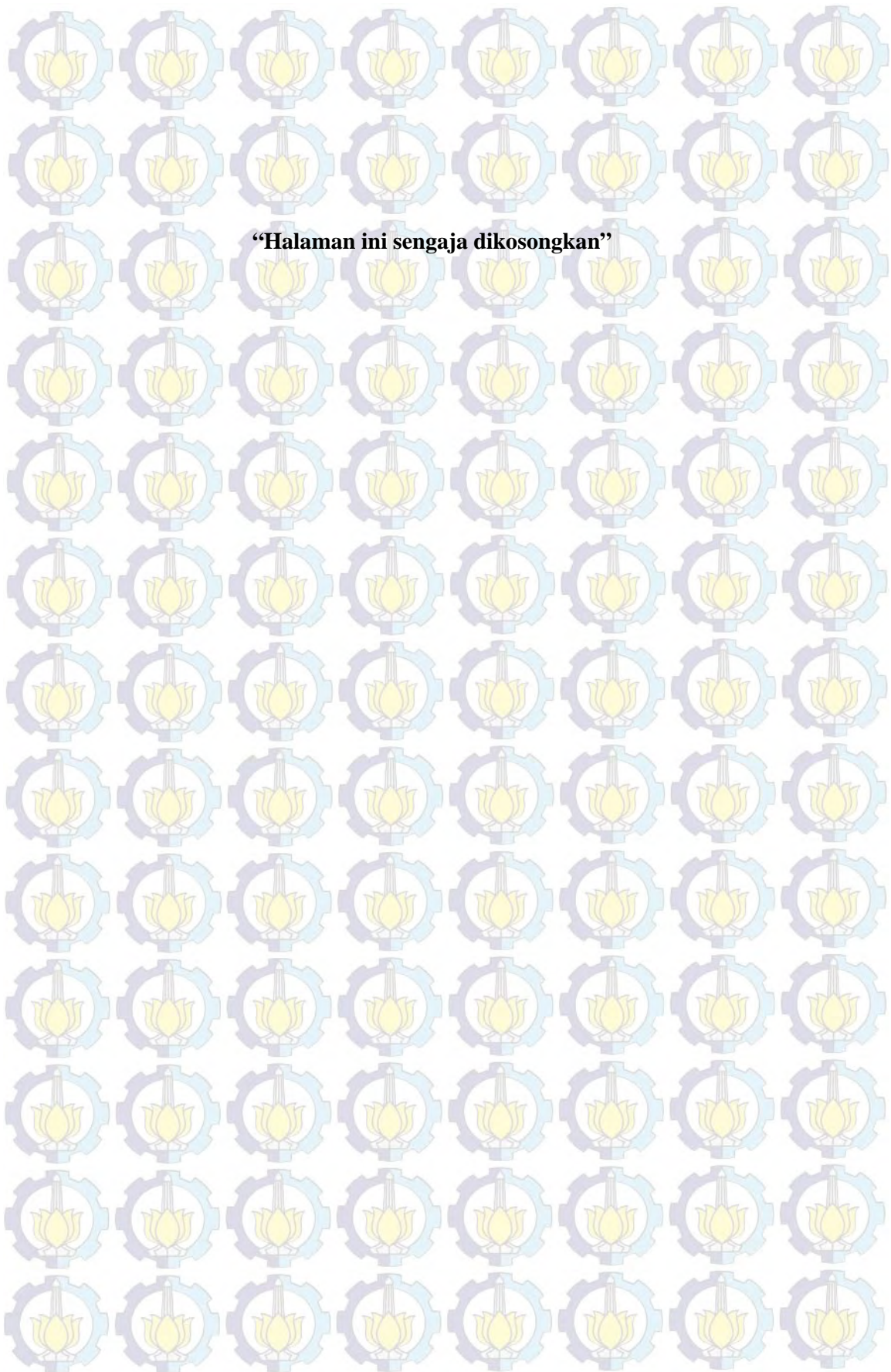


(b)

Gambar 4.6 (a) Spektrum SPR sampel AZO 0,5 wt% setelah direndam dalam pewarna selama 0,25 jam dan (b) Spektrum SPR sampel AZO 0,5 wt% setelah direndam dalam pewarna selama 1 jam.

Data spektrum Gambar 4.6 (a) menunjukkan bahwa indeks bias efektif semakin besar daripada indeks bias efektif lapisan AZO 0.5 wt%. Pada perendaman dalam waktu 0,5 jam dip SPR lapisan juga bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa indeks bias real membesar akibat kehadiran dye yang menjadi lebih banyak di dekat bidang batas emas alam. Dengan kata lain, penetrasi dye hingga ke bidang batas dengan emas semakin banyak. Akan tetapi, setelah direndam selama satu jam dip SPR bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil seperti ditunjukkan gambar 4.6 (b). Karakteristik ini cukup aneh dan tidak sesuai dengan gambaran sebelumnya. Dalam hal ini, diduga hadir efek lain yang mempengaruhi gelombang Plasmon dengan cara yang tidak lazim. Pada tahap ini, baru bisa diduga bahwa terjadi akumulasi muatan elektron di sekitar bidang batas akibat transfer elektron dari dye ke AZO. Hal tersebut mengakibatkan perubahan kerapatan elektron di permukaan emas. Ada pula kemungkinan lain seperti terjadinya kopling osilasi elektron emas dengan elektron dye sehingga menyebabkan berubahnya nilai

frekuensi plasmon. Namun untuk membuktikan hal tersebut perlu dilakukan analisa penelitian lebih lanjut.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini berhasil dilakukan kajian untuk membedakan derajat porisitas lapisan tipis logam oksida dimana dalam penelitian ini bahan yang digunakan yaitu ZnO dengan dopan Alumunium (AZO) dan mengkarakterisasi penetrasi dye solar sel dengan menggunakan metode pengukuran spektroskopi plasmon permukaan. Hasil pengukuran pada lapisan thin film AZO menunjukkan perbedaan dip SPR jika diamati pada sudut datang prisma yang sama. Perbedaan dip tersebut mengidentifikasi adanya perbedaan nilai indeks bias pada kadar dopan Alumunium yang berbeda. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya perbedaan ukuran nanoporos pada lapisan AZO. Hasil data eksperimen dapat dicocokkan dengan teoritik menggunakan kurva dispersi.

Pada lapisan AZO yang direndam dalam dye dengan variasi waktu didapatkan spektrum SPR yang berbeda, pada perendaman seperempat jam dip SPR bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar, hal tersebut menunjukkan adanya penambahan nilai indeks bias real membesar akibat kehadiran dye yang menjadi lebih banyak di dekat bidang batas emas alam. Dengan kata lain penetrasi dye dengan bidang batas emas alam semakin banyak. Akan tetapi setelah direndam 1 jam, dip SPR bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil dibandingkan dengan dip SPR lapisan emas saja, dalam hal ini diduga hadir efek lain yang mempengaruhi gelombang plasmon dengan cara yang tidak lazim. Pada tahap ini baru diduga bahwa terjadi akumulasi muatan elektron disekitar bidang batas akibat transfer elektron dari dye dan AZO.

Hasil pengukuran SPR lapisan AZO dengan kadar dopan yang berbeda pada sudut datang prisma 48 derajat didapatkan nilai indeks bias efektif sebagai berikut:

Untuk ZnO $n_{eff} = 1,08$; untuk AZO 0,5 wt% $n_{eff} = 1,077$ dan untuk AZO 1 wt% $n_{eff} = 1,076$.

5.2 Saran

Indeks bias lapisan yang didapatkan adalah indeks bias efektif, sehingga perlu dianalisa lebih lanjut perhitungan secara teoritik untuk menentukan indeks bias relatif lapisan tipis logam oksida. Penelitian diharapkan juga dilakukan dengan menggunakan sinar monokromatik, sehingga bisa dibandingkan dan bisa dianalisa lebih lanjut dari data yang didapatkan apabila menggunakan sinar polikromatik dan sinar monokromatik.

Asumsi bahwa akumulasi antara emas dari dye ke AZO perlu dianalisa lebih lanjut. Data yang didapatkan dari pengukuran apakah hanya artificial dari alat ataupun memang terjadi kopel osilasi.

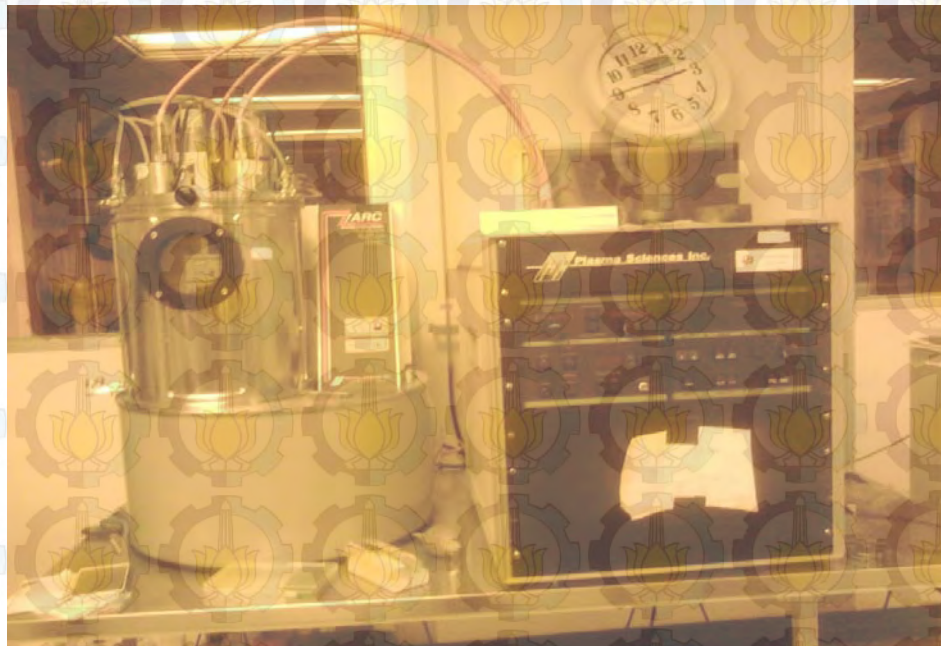
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Parameter logam Au	41
Lampiran 2. <i>Sputtering</i> di LIPI Bandung	41
Lampiran 3. Prekursor ZnO terdoping Alumunium	42
Lampiran 4. <i>Hot plate</i> dan <i>magnetic stirrer</i>	42
Lampiran 5. <i>Hot plate</i> dengan gas <i>inert</i> Argon dilengkapi dengan sensor suhu	43
Lampiran 6 Sampel emas (kanan) dan sampel yang direndam dalam dye (kiri)	43

LAMPIRAN

frekuensi plasmon ($\hbar\omega_p$ eV)	9,03
f_0	0,76
Γ_0	0,053
f_1	0,024
Γ_1	0,241
ω_1	0,415
f_2	0,01
Γ_1	0,345

Lampiran 1. Parameter logam Au.



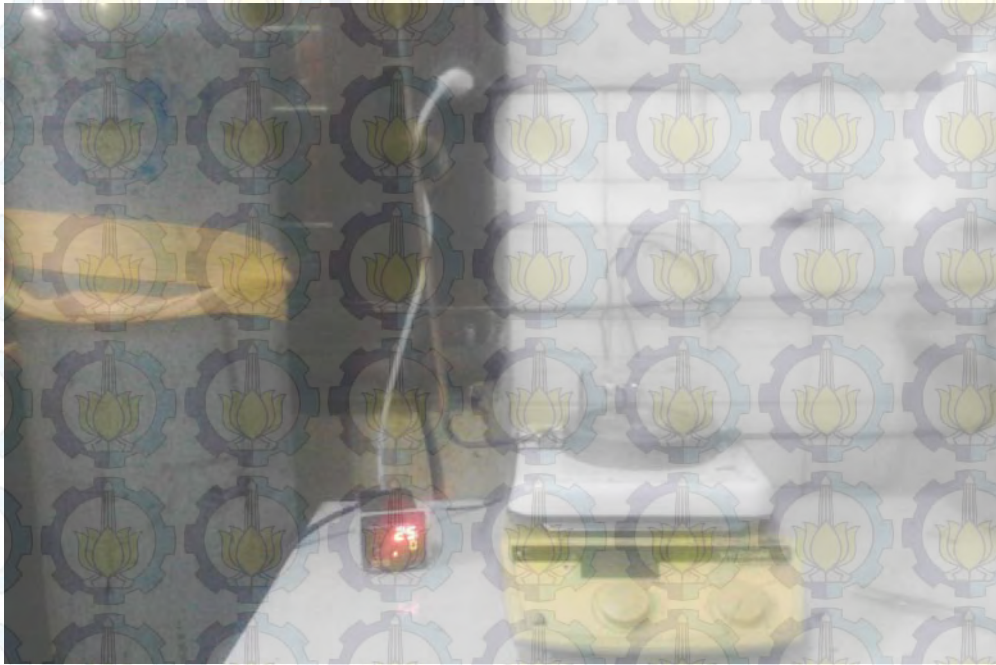
Lampiran 2. *Sputtering* di LIPI Bandung.



Lampiran 3. Prekursor ZnO terdoping Alumunium.



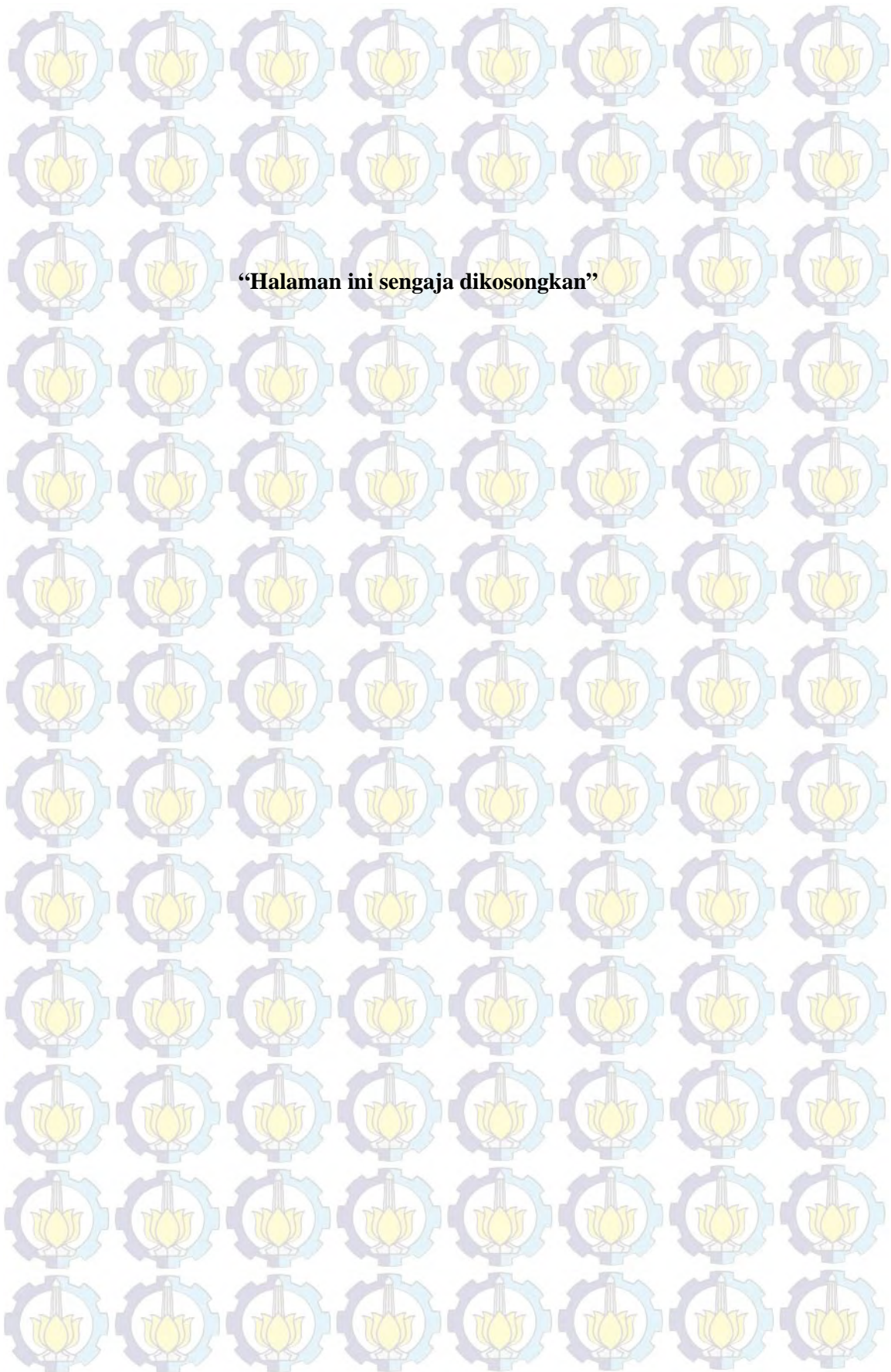
Lampiran 4. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*.



Lampiran 5. *Hot plate* dengan gas *inert* Argon dilengkapi dengan sensor suhu.



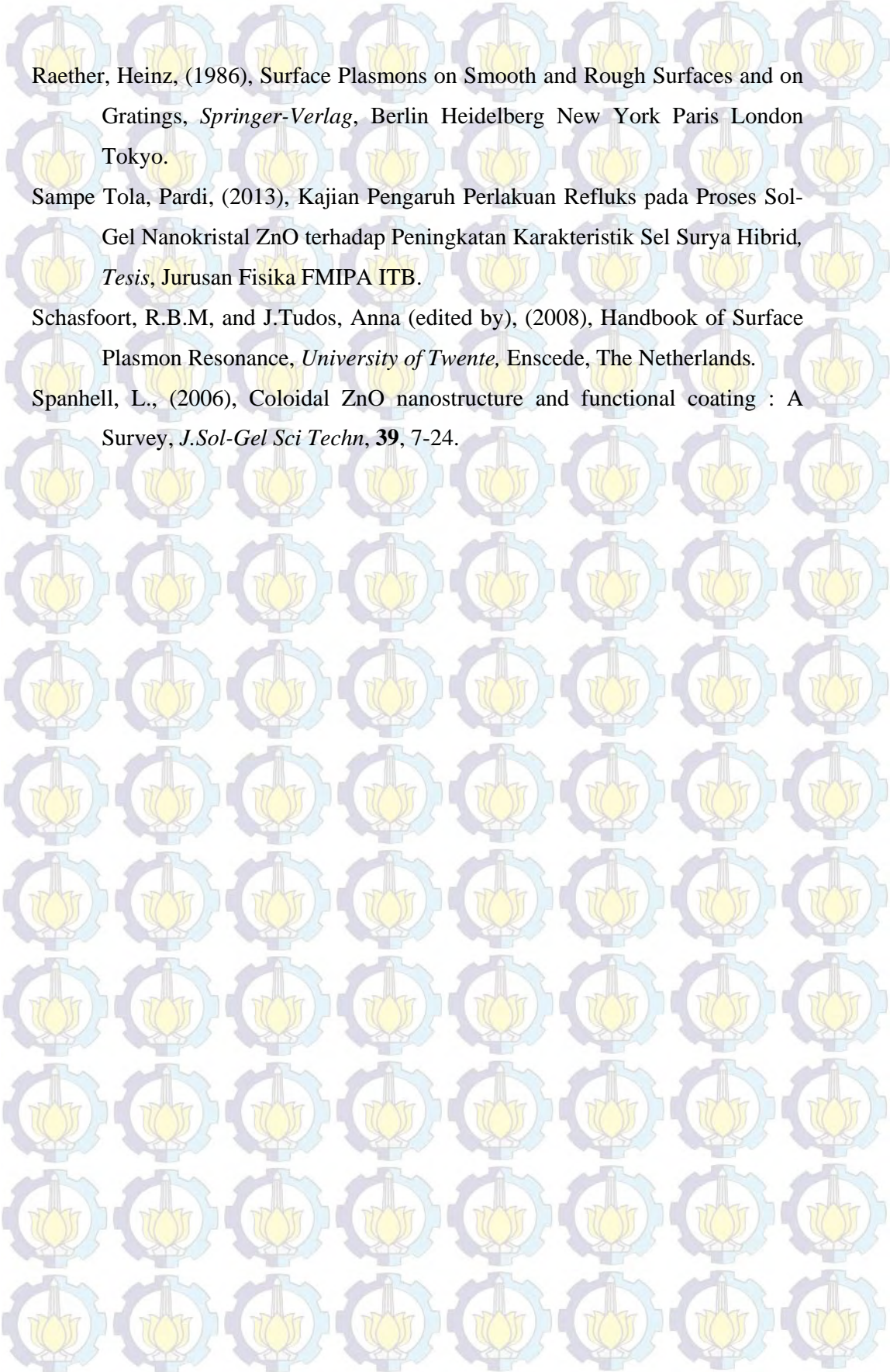
Lampiran 5 Sampel emas (kanan) dan sampel yang direndam dalam dye (kiri).



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, Annisa, (2013), Kajian Pengaruh Konsentrasi Alumunium terhadap Sifat Listrik dari Lapisan Interlayer Alumunium-Doped ZnO (AZO) pada Karakteristik Sel Surya Hibrida, *Disertasi*, Jurusan Fisika FMIPA ITB.
- G. Bordo, Vladimir and Horst-Gunter Rubahn, (2005), Optics and Spectroscopy at Surfaces and Interfaces, *WILEY-VCH*, ISBN:3-527-40560-7.
- Hendro, (2014), Kajian Efek Serapan Optik Gelombang Evanescent Dalam Sistem Spektroskopi SPR, *Disertasi*, Jurusan Fisika FMIPA ITB.
- Hidayat, Rahmat, (2014), Surface Plasmon Resonance (SPR) dan Aplikasinya untuk Sensing Molekular, *workshop biofotonik IPB*, Fisika FMIPA ITB.
- Homola, J, (2006), Surface Plasmon Resonance Based on Sensor. *Springer Series on Sensor and Biosensor* n. 04. Heidelberg GmbH and Co. K, Springer-Verlag Berlin.
- Ho-Pui Ho (Aaron), (2009), Phase-sensitive Surface Plasmon Resonance Biosensor, *National Cheng Kung University*, Centre for Advanced Research in Photonics, Department of Electronic Engineering, The Chinese University of Hong Kong.
- Imansyah, Ryan, (2010), Kajian Sistem Pengukuran Berbasis Surface Plasmon Resonance dan Pengembangannya untuk Alat Ukur Indeks Bias Portable, *Tugas Akhir*, Jurusan Fisika FMIPA ITB.
- Jacobsson Jesper, T, (2009), Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles. *Uppsala Universitat*.
- Kanso, M., Cuenot, S., Louarn, G., (2008), Sensitivity of Optical Fiber Sensor Based on Surface Plasmon Resonance: Modeling and experiments, *Plasmonics* (2008) 3:49-57.
- Morkoç, Hadis and Özgür, Umit, (2007), Zinc Oxide: Fundamentals, Materials, and Device Technology, *WILEY-VCH*. ISBN: 978-3-527-40813-9.
- Pujiarti, Herlin, (2014), Kajian Karakteristik fotovoltaiik dan Impedansi dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan gel elektrolit. *Tesis*, Jurusan Fisika FMIPA ITB.



Raether, Heinz, (1986), Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings, *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg New York Paris London Tokyo.

Sampe Tola, Pardi, (2013), Kajian Pengaruh Perlakuan Refluks pada Proses Sol-Gel Nanokristal ZnO terhadap Peningkatan Karakteristik Sel Surya Hibrid, *Tesis*, Jurusan Fisika FMIPA ITB.

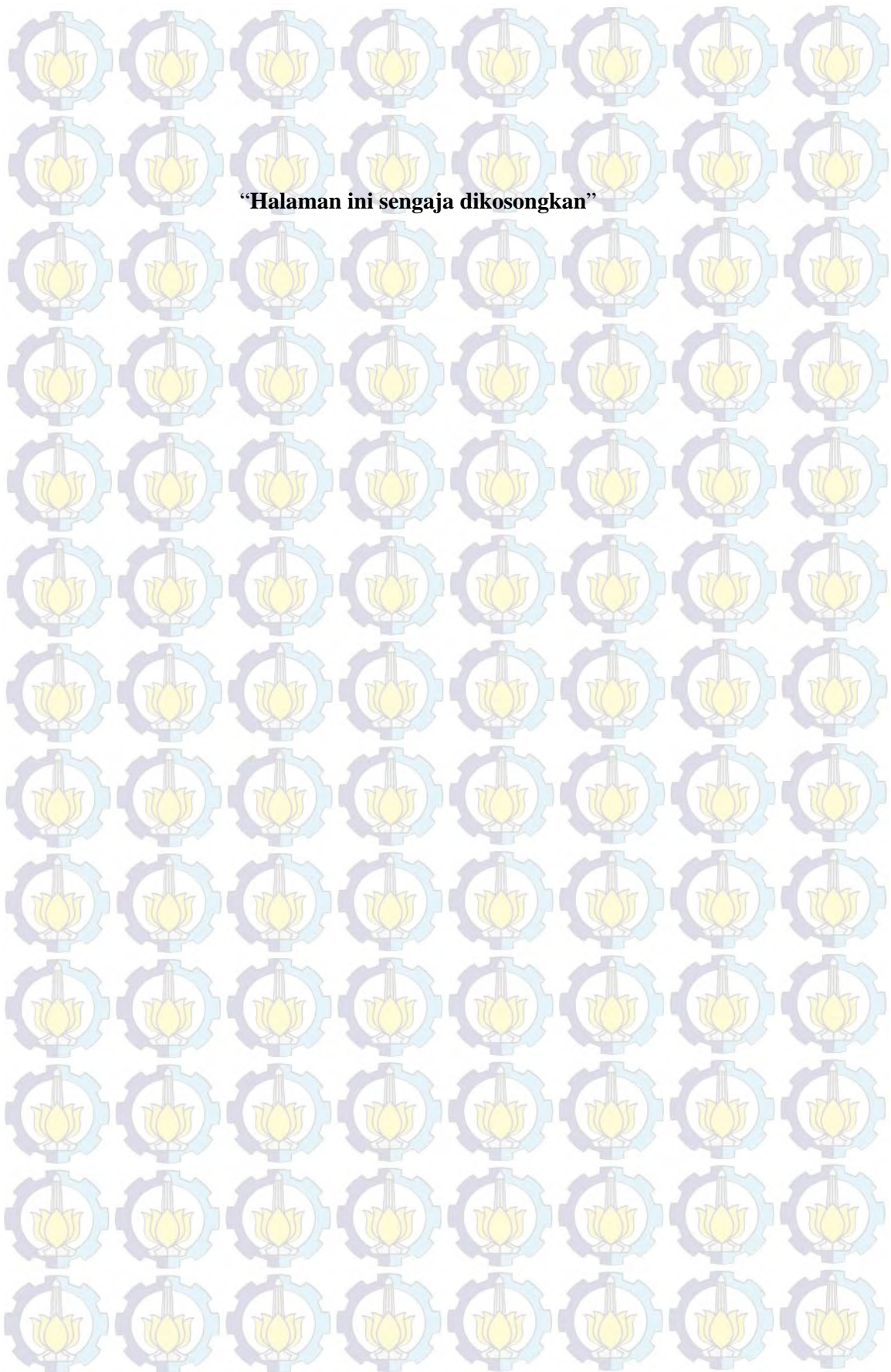
Schasfoort, R.B.M, and J.Tudos, Anna (edited by), (2008), Handbook of Surface Plasmon Resonance, *University of Twente*, Enschede, The Netherlands.

Spanhell, L., (2006), Coloidal ZnO nanostructure and functional coating : A Survey, *J.Sol-Gel Sci Techn*, **39**, 7-24.



BIODATA PENULIS

Siti Chalimah, penulis merupakan putra pertama dari tujuh bersaudara dari bapak Subari dan ibu Sumiati yang lahir di Nganjuk, Jawa timur. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN V Tanjunganom, SMPN I Tanjunganom, SMAN I Kertosono, pendidikan S1 dan S2 di laboratorium Optoelektronika dan Elektromagnetika jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama S1 penulis aktif di kegiatan Laboratorium dan Akademik, penulis merupakan asisten praktikum Fisika dasar I dan II, asisten kelas Fisika Dasar II, dan asisten praktikum Spektrometer. Pengalaman organisasi penulis antara lain sekretaris Pondok Pesantren Miftahul 'Ula (2003-2004), PSDM di Forum Studi Islam Fisika ITS (FOSIF). Pada jenjang S1 penulis melakukan tugas akhir tentang antena mikrostrip dengan dosen pembimbing Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng. Pada jenjang S2 penulis melakukan thesis di Laboratorium Fisika Fotonik dan Magnetik ITB dengan pembimbing dari ITB adalah Rahmad Hidayat, Ph.D dan Dr. Eng.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”